СПбГУТ))) 95 лет

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

НТК ППС

65-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных работников и аспирантов

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ:

- Инфокоммуникационные сети и системы
- Информационные технологии и программная инженерия
- Социальные технологии и экономика данных
- Радиоэлектронные системы и робототехника
- Кибербезопасность
- Сети связи специального назначения

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

2025

ntk.sut.ru

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА» (СПбГУТ)

65-Я НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА, НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ И АСПИРАНТОВ (НТК ППС 2025)

17–21 февраля 2025 года

Сборник научных статей

Том 1

Инфокоммуникационные сети и системы

Информационные технологии и программная инженерия

СПб ГУТ)))

Санкт-Петербург

2025

УДК 001:061.3(082)
ББК 72 А43

65-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных работников и аспирантов (НТК ППС 2025); сб. науч. ст.: в 3 т. / Под. ред. А. В. Рабина; сост. И. М. Татарникова: СПб.: СПбГУТ, 2025. Т. 1. 775 с.

Рецензент – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструирования и технологий электронных и лазерных средств Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения Бестугин А. Р.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Киричек Р. В., доктор технических наук, профессор, ректор СПбГУТ

Заместитель председателя

Рабин А. В., доктор технических наук, доцент, и.о. проректора по научной работе

Ответственный секретарь

Громова Н. Н., кандидат экономических наук, руководитель группы планирования научных исследований и аналитики СПбГУТ

Члены программного комитета

Елагин В. С., кандидат технических наук, доцент, и.о. декана факультета инфокоммуникационных сетей и систем СПбГУТ

Владыко А. Г., кандидат технических наук, доцент, декан факультета радиоэлектронных систем и робототехники СПбГУТ

Литвинов В. Л., кандидат технических наук, доцент, и.о. декана факультета информационных технологий и программной инженерии СПбГУТ

Зикратов И. А., доктор технических наук, профессор, декан факультета кибербезопасности СПбГУТ

Шутман Д. В., кандидат политических наук, доцент, декан факультета социальных технологий и экономики данных СПбГУТ

Гирш В. А., полковник, начальник военного учебного центра СПбГУТ

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ (СПбГУТ, Россия)

Председатель

Абилов А. В., первый проректор – проректор по учебной работе

Заместитель председателя

Окунева Д. В., проректор по проектной деятельности

Члены организационного комитета

Бобровский В. И., и. о. директора НИИ «Технологии связи»

Дружков К. В., и.о. директора департамента экономики и финансов

Ивасишин С. И., директор департамента организации и качества образовательной деятельности

Лысов А. Н., директор департамента по эксплуатации и развитию материально-технического комплекса

Зыкова Н. В., начальник управления информационно-образовательных ресурсов

Гребелина Н. В., начальник управления информатизации

В научных статьях участников конференции исследуются тенденции развития информационных технологий и телекоммуникационной отрасли, новейших достижений в науке и образовании. Предлагаются инновационные решения на основе информационных и коммуникационных технологий в образовании, науке, технике, экономике, социальной сфере и других областях.

Предназначено научным работникам, аспирантам и студентам старших курсов телекоммуникационных и политехнических вузов, инженерно-техническому персоналу и специалистам отрасли связи.

ISBN 978-5-89160-370-7
ISBN 978-5-89160-371-4 (Том 1)

© СПбГУТ, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ 11

Антипин Б. М., Виноградов Е. М., Шаброва Е. В. Процедуры измерения напряженности электромагнитного поля для различных приложений 11

Батенков К. А. Анализ класса IP сети по показателям потерь пакетов 18

Бобровский В. И., Кукунин Д. С., Баталин Н. С., Подайко С. В., Шибаленков К. А. Перспективы декодирования помехоустойчивых кодов на графическом процессоре 22

Бобровский В. И., Кукунин Д. С., Книгиницкий Е. И. Моделирование самосинхронизирующейся системы передачи данных 26

Бородко А. В., Пантюхин О. И. Анализ фреймворков для генеративно-состязательного формирования изображений 30

Бучатский А. Н., Кузьмина Д. Д. Проблема восприятия метамерных пар при наложении виртуальных объектов на реальные: новые подходы к повышению качества визуализации 38

Бучатский А. Н., Лосев А. П. Особенности применения объективных метрик оценки качества видео современных кодеков 45

Былина М. С. Квантовые генераторы случайных чисел для систем КРК 51

Былина М. С. Протоколы квантового распределения ключа, использующие слабые когерентные состояния света 57

Викулов А. С., Скоробогатова С. А. Обзор механизмов тактовой синхронизации в сетях IEEE 802.11 64

Виноградов П. Ю. Применение не кислотных аккумуляторных батарей в электропитающих установках базовых станций сотовой связи 69

Владимиров С. С., Фомин А. И. Применение протокола NCRP в системах с централизованным управлением дуплексной передачей данных 74

Гольдштейн А. Б., Елисеев С. М. Технологические подходы к построению виртуальных мобильных операторов MNVO в сетях 5G 79

Гольдштейн А. Б., Зимин А. В. Тестирование сетей NGN B и ПОСТ-NGN с примененением сетей Петри 85

Горлов Н. И., Гармаева Э. В., Шайгараева Т. Н. Применение динамической решетки Бриллюэна в волоконно-оптических датчиках 90

Громов В. В. Особенности перехода на Astra Linux (часть 2) 94

Дворников С. В., Жданова И. М., Федосеев Д. О. Подход к выявлению аномалий в реструктуризированном трафике 100

Дунайцев Р. А., Кузьмина Е. В., Светова А. В. Шесть нулевых байт в кадрах Ethernet: откуда и зачем? 104

Дюбов А. С., Полякова Е. В., Резников Б. К. Моделирование устройств оптоэлектроники и интегральной оптики на базе программного обеспечения «OptiFDTD» в учебном процессе 110

Евдокимова О. Г., Шматченко В. В. Модель системы регулирования движения магнитолевитационных транспортных средств на основе радиоканала 116

Евдокимова О. Г. Повышение качества электроэнергии в системах автоматики и связи на железнодорожном транспорте 121

Елагин В. С., Кисляков С. В., Чекалов Д. А. Внедрение системы биллинга в иерархическую SDN-сеть 125

Елагин В. С., Поляков С. А. Исследование параметров для моделей прогнозирования состояния аппаратно-програмной реализации сетевых устройств 132

Зеневич А. О., Кочергина О. В. Плоский угол зрения кремниевых фотоумножителей в условиях изменения температуры 138

Зеневич А. О., Кочергина О. В., Новиков Е. В. Система слежения с датчиком углового смещения на основе кремниевого фотоумножителя 142

Ибрагимов Р. З., Ефименко А. М. Особенности помехоустойчивого кодирования в опорных сетях связи 146

Иванов В. Г., Алленов Д. С., Чабаненко В. В., Михайлов В. П. К вопросу возрастания нагрузки между вычислительными ресурсами в информационных системах отображения роев БПЛА 150

Иванов В. Г., Алленов Д. С., Чабаненко В. В., Михайлов В. П. Лазерные коммуникации с БЛА при построении информационных систем специального назначения 155

Канаев А. К., Прошин Ф. А. Математическая модель процесса функционирования блока синхронизации в составе мультиплексора оптической транспортной сети 161

Киселев А. Д., Мирошниченко Г. П., Гусельников М. С., Козубов А. В., Гайдаш А. А. Влияние степени симметрии бифотонных состояний на функционирование квантовых оптических гироскопов 167

Кисляков С. В., Луценко М. Н. Анализ возможностей оптимизации эксплуатационных процессов дата-центра посредством применения технологий виртуальной и дополненной реальности 172

Кисляков С. В., Хайдаров А. В. Модель управления контактным центром на основе Открытой цифровой архитектуры 179

Ковалгин Ю. А., Гуминский О. А. Исследование возможности компенсации временного сдвига OFDM-сигнала в системе цифрового радиовещания DRM mode E 184

Ковалгин Ю. А., Гуминский О. А. О точности временной синхронизации при DRM-приеме 190

Ковалёв И. С., Пантюхин О. И., Рябов Г. А., Солодухин Б. В. Архитектуры инфотелекоммуникационных сетей с искусственным интеллектом 197

Кривов О. А., Козлов А. А., Пиликина Е. А., Чикалов Н. В. Модель распределения сигналов синхронизации в гетерогенных сетях связи с подключением киберфизических систем 202

Крылов А. А., Корнюшкин Д. А. Анализ проблем интеграции нейросетевого регулятора в автоматизированных системах управления для типового хоккейного стадиона 208

Крылов А. А., Корнюшкин Д. А. Внедрение нейросетевого регулятора в подсистему мониторинга для обнаружения дефектов поверхностей объекта при помощи квадрокоптера 213

Ликонцев А. Н., Сертаков А. В. Методы и модели организации радиоканалов на базе систем связи миллиметрового диапазона 218

Лящук М. З., Абрамова Н. И., Воробьев П. В. Однонаправленные системы повышения достоверности 225

Лящук М. З., Абрамова Н. И., Воробьев П. В. Передача информации различных категорий срочности в сетях коммутации сообщений 231

Лящук М. З., Абрамова Н. И., Ткачев Д. Ф. Методы и способы адресования сообщений 235

Макогон В. П., Негурица А. А., Неволин М. П. Исследование возможностей технологии полярного кодирования в системах пятого поколения (5G) 242

Маколкина М. А. Профилирование клиентов телемедицинских услуг в контакт-центрах 247

Маколкина М. А., Трухин В. А. Анализ услуг и приложений дополненной реальности 252

Манцветов А. А., Белогубкин Я. Ю. Камера наблюдения разрядов статического электричества на солнечной батарее космического аппарата 260

Манцветов А. А., Бечин Д. Н. Панорамная камера внешнего кругового обзора космического аппарата 267

Мутханна А. С., Аль-Кереа З. А., Ясир Х. А. Будущее телеприсутствия: как сети 6G произведут революцию в виртуальном взаимодействии 272

Мутханна А. С., Аль-Кереа З. А., Ясир Х. А. Реализация платформы граничных вычислений для сетей 6G: безопасность, AI и приложения 278

Мутханна А. С., Аль-Кереа З. А., Ясир Х. А. Современные платформы граничных вычислений для сетей 6G: анализ архитектур и технологий 282

Парамонов А. И., Комаров И. И. Миграция сервисов в сетях IoT с использованием Docker и CI/CD 287

Парамонов А. И., Крылов С. Е. Модель надежности сети беспроводного доступа с высокой плотностью пользователей 292

Парамонов А. И., Хоанг Ф. Н. Разработка эффективной стратегии мониторинга подканалов для высокоплотной гетерогенной сети IoT 300

Паращук И. Б., Владимирова Е. С., Саяркин Л. А. Классификационные признаки процедур мониторинга защищенности программно-аппаратных комплексов электронного документооборота, использующих каналы инфокоммуникационных сетей 305

Паращук И. Б., Ренсков А. А., Домбровский Я. А. Синопсис некоторых аспектов и технологических мер обеспечения кибергигиены пользователей и администраторов современных инфокоммуникационных сетей и систем 310

Паращук И. Б., Селезнев А. В. Саяркин Л. А. Ключевые факторы, стадии и формальная постановка задачи многокритериального выбора методов и программно-аппаратных инструментов поиска пертинентной информации на больших объемах данных 315

Пестов И. Е., Стародубов Р. Д. Риски и модель угроз в распределенных вычислительных системах 320

Прасолов А. А., Рощинский Р. С. Сравнительный анализ эмпирических моделей распространения с результатами мониторинга сетей сотовой связи 324

Прасолов А. А., Свиньина О. А. Разработка многоканального усилителя звуковой частоты с возможностью цифровой обработки звуковых сигналов 329

Прасолов А. А., Свиньина О. А. Разработка поворотного стола для проведения измерений характеристик направленности электроакустического оборудования 336

Рогозинский Г. Г., Бучатский А. Н., Прохоров К. Ю. Фрактальный вейвлет-шум: исследование влияния SEED-массива и узлов пакетного дерева на формирование изображений 342

Рыбаков А. И. Постановка задачи повышения помехоустойчивости современных систем декаметровой радиосвязи 348

Сергеев А. Н. Зависимость оптических характеристик кремниевого оптического волокна от степени легирования сердцевины диоксидом германия. 354

Синюк А. Д., Остроумов О. А. Эффективность раздельной передачи информационной последовательности и блока проверочных символов по параллельным каналам связи 360

Соколов Н. А., Ермаков А. В., Федоров А. В. Характеристики потоков заявок в узлах мультисервисной сети 365

Сосенушкин С. Е., Юсеф Ф. Моделирование процесса унификации кадров данных стандартов беспроводных сенсорных сетей ZigBee и WirelessHART 369

Стариков В. В. Расчет радиопокрытия соты 5G посредством технологии трассировки лучей в среде Matlab 373

Татаренков Д. А. Оценка качества синтезируемых виртуальных ракурсов с применением карты глубины 379

Татаринов В. И., Гущин В. Е. Интернет подводных вещей: физическая архитектура и особенности применения 385

Фёдоров С. Л., Горынцев А. А. Методы автоматического обнаружения табачных изделий на телевизионных изображениях 391

Фёдоров С. Л., Татаренков Д. А., Федотов Д. Д., Хрипунов М. Д. Интеграция технологий отслеживания движений и цифровых аватаров в образовательный процесс 396

Фёдоров С. Л., Тучкевич А. Н. Нейросетевые модели обнаружения объектов и способы их применения в системах обработки видеоконтента 402

Фокин Г. А. Постановка задачи разработки демонстратора управления радиолинией с помощью xApp в srsRAN на основе программно-конфигурируемого радио 409

Фокин Г. А., Багаев Е. С. Анализ дальномерного метода позиционирования в сетях стандарта 802.11az 415

Фокин Г. А., Рябиков Д. С. Анализ проблемы синхронизации устройств для задач позиционирования в перспективных сетях связи 421

Шестаков И. И. Оценка влияния двухкаскадных EDFA усилителей на качество связи в длиннопролетных ВОСП 428

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ 432

Алимов А. Л. Алгебраический метод построения семейства путей в ориентированном графе 432

Бондаренко И. Б., Пелих Д. А. Проектирование мультиагентной системы планирования застройки 437

Васильев Н. А., Владимиров И. А., Подгорецкий В. В., Шелегов Г. С. Сравнительный анализ применения языковых моделей нейронных сетей для создания виртуальных ассистентов в образовательных учреждениях высшего образования 442

Васильев Н. А., Грибовский А. А., Илясов П. А., Лысенков Ю. Н. Использование технологий искусственного интеллекта в электронной информационно-образовательной среде 448

Владыко А. Г., Плотников П. В., Суравцев Р. В. Применение метаэвристических алгоритмов к задачам оптимизации V2X систем 453

Волошинов Д. В., Бояшова Е. П. Проектирование знакосинтезирующего индикатора 459

Громов В. В. Трудности внедрения программы учета присутствия студентов в СПбГУТ 463

Губин А. Н., Литвинов В. Л., Филиппов Ф. В. Искусственный интеллект с осознанием окружающего мира 468

Губин А. Н., Литвинов В. Л., Филиппов Ф. В. Исследование методов повышения резкости изображений 473

Губин А. Н., Литвинов В. Л., Филиппов Ф. В. Семантизация данных 479

Гунина Е. В. Организация проектной деятельности в рамках учебной дисциплины «Эскизирование и макетирование» 484

Гунина Е. В. Требования ЕСКД и простановка размеров на чертежах в программе Компас 3D 490

Денисов А. Р., Миридаштаки В. Инфологическая модель системы управления стратегическим развитием компании 497

Денисова Ю. В., Николаева Г. О. Использование нейронных сетей для обучения ребенка дошкольного возраста безопасному поведению на улице 503

Денисова Ю. В., Николаева Г. О. Методы повышения точности нейронных сетей при обработке графической информации 509

Дмитриева О. М., Камартина Н. М., Тащиян Г. М. Регрессия и коэффициент детерминации 514

Жаранова А. О., Капитоненко В. В. Анализ влияния интероперабельности на выбор блокчейн-сети для различных типов децентрализованных приложений 521

Зикратов И. А., Новиков Е. А. Применение распределенных робототехнических систем при проведении на практике операций различных видов 526

Иванов В. Я., Гущин В. Е. Разработка одномерной математической модели мощного многорезонаторного клистрона 532

Киричек Р. В., Березкин А. А., Ченский А. А. Исследование влияния порядка байтов при бинаризации латентного пространства на степень сжатия кадров FPV-видеопотока 539

Ковалев И. С., Ворончук В. И., Ногин С. Б., Пантюхин О. И. Некоторые аспекты обновления картографической информации на базе OSM в системе оперативного управления силами и средствами реагирования 545

Козлова О. А., Козлова Л. П., Якубова Н. Р. Интеллектуализация современных систем принятия решений 550

Козлова О. А., Козлова Л. П., Якубова Н. Р. Современные тенденции стандартизации в области информационных технологий 555

Константинов С. А., Бобровский В. Е., Швалев М. А. Разработка WEB-приложения для научно-исследовательского центра 560

Красов А. В., Аксенова Л. Е. Анализ открытых наборов данных ОКТ изображений для разработки и тестирования опытного образца программного комплекса на основе технологий искусственного интеллекта 566

Кузнецова О. Б. ГИС-приложение прогнозирования миграционного сезона рыб в Северном бассейне 573

Лабковская Р. Я., Косов П. В. Как выбрать подходящую BI-платформу 577

Лабковская Р. Я., Косов П. В. Проблемы восприятия оптических иллюзий искусственным интеллектом 584

Лабковская Р. Я., Тарасов В. А. Интеллектуализация принятия управленческих решений в рамках администрирования информационной инфраструктуры 589

Лаута О. С., Васильев Н. А., Кунгурцев С. Г., Трухманов И. Р. Особенности применения беспилотных систем при выполнении специальных задач путем использования нейронных сетей типа CNN 592

Лещинский Б. С., Ковач Д. В., Тимирзин Е. Ю., Шамаев В. А. Необходимость использования единого информационного пространства в органах военного управления 601

Литвинов В. Л., Посвященный Д. Е. Методы восстановления изображений с заданными критериями качества 607

Мешалкин В. А., Галушко И. В., Мандриченко А. С., Шмидт А. А. Применение генетического алгоритма при проектировании излучателя активной фазированной антенной решетки 611

Мосеев В. И., Устименко Э. Р. Искусственный интеллект и информационное пространство: историческая перспектива и современные вызовы 615

Мошак Н. Н., Давыдова Е. В. Рудинская С. Р. Построение модели сигнального трафика в радиоканале LTE 622

Мусаева Т. В., Боталов А. А. Возможности нейронной сети GPT-4o в выявлении заданной пользователем последовательности чисел 628

Мусаева Т. В., Боталов А. А. Использование нейросети GPT-4o для создания материалов, направленных на обучение программированию студентов высших учебных заведений 632

Мусаева Т. В., Боталов А. А. Методы нейросетевых технологий в индустрии разработки видеоигр 636

Нестеров С. А. Примеры внедрения материалов и ресурсов академических программ компаний в обучение ИТ-дисциплинам 641

Островский Ю. Н., Акопян Л. В., Гутаров В. А., Сметанин Д. И. Сравнительный анализ ПО для VR и технических устройств VR 647

Перевозник Ю. Я., Гвоздков И. В., Ликарь А. И., Методы предварительной обработки текста и обработки естественного языка. 651

Перевозник Ю. Я., Гвоздков И. В., Ликарь А. И., Система формирования персонализированных планов подготовки на курсах повышения квалификации 657

Перевозник Ю. Я., Гвоздков И. В., Омаров Э. Г. Безопасность пользовательских скриптов в веб-приложениях: риски, угрозы и методы защиты 662

Петров И. И., Олимпиев А. А. Автоматизированная система управления очередями студентов в вузах 667

Плотников П. В., Бритаева О. Х.-М. Критериальное оценивание экономических рисков в условиях неопределенности 673

Раковский О. В., Аньшаков А. Е. Анализ и разработка отечественного ПО для САПР-проектирования 678

Раковский О. В., Бовшик П. П. Конфигурирование программно-аппаратного комплекса хранения и обработки информации на основе метода анализа иерархий 684

Раковский О. В., Матюхина Т. В. Системы принятия решения в управлении структурами с обратной связью 691

Сахаров Д. В., Паскенова А. У. Модель комплексной защиты объекта информатизации 695

Смородин Г. Н. Анализ соотношения прорывных технологий с проектной деятельностью в области информационных технологий и искусственного интеллекта 702

Старостин В. С. Сокращение объема работы квантового оракула в алгоритме Гровера 707

Степанов С. С., Петраков Н. В., Щербинин А. В. К вопросу использования единого информационного пространства в ведомствах Министерства обороны 713

Тихонов С. С., Виткевич Н. Л., Никулин А. С. Влияние искусственного интеллекта в адаптивных платформах и виртуальных наставниках на образовательный процесс 717

Тихонов С. С., Константинов С. А., Никитов О. И. Разработка интеллектуального программного обеспечения для формирования заданий на тестирование обучающихся 722

Ткачев Д. Ф., Воробьев П. В., Кудрявцева Ю. А., Самков М. Ю. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом в блочно-модульной котельной 727

Филиппов Ф. В., Цыварев И. В. Сравнительный анализ языковых моделей для векторизации и кластеризации текстов задач по разработке ПО 732

Шиян А. А., Шиян П. А. Автоматизация проверки работ по инженерной и компьютерной графике 739

Шиян А. А., Шиян П. А. Проблемы автоматизации синтеза вариантов заданий по инженерной и компьютерной графике 743

Эль Сабаяр Шевченко Н. Интеллектуальное управление задержками в 5G-сетях с использованием больших языковых моделей 747

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 752

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ

УДК 621.317.08
ГРНТИ 49.43.29

ПРОЦЕДУРЫ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Б. М. Антипин, Е. М. Виноградов, Е. В. Шаброва

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассматриваются процедуры измерения электрической составляющей напряженности электромагнитного поля, которые используются для оценки зон уверенного приема телевизионного сигнала, зон обслуживания передатчиков связных систем, для целей радиоконтроля и для испытаний, связанных с оценкой электромагнитной безопасности. Специфика измерений напряженности поля для различных приложений определяет соответствующие требования к условиям измерений, а также к используемым средствам измерений, которые, как правило, сформулированы в нормативных документах. Приводятся оценки погрешностей измерений.

напряженность электромагнитного поля, измерительные антенны, погрешности измерений

Введение

Информация о напряженности электромагнитного поля востребована во многих приложениях. В работе рассматриваются процедуры измерения напряженности, которые возникают при решении следующих задач:

– измерения зон покрытия и зон уверенного приема (зон обслуживания) передатчиков радиовещательной службы;
– измерения при радиоконтроле;
– измерения для оценки электромагнитной безопасности.

Как правило, во всех этих измерительных задачах требуется использовать поверенные средства измерений, а также аттестованные методики выполнения измерений.

Измерение зон покрытия и зон уверенного приема (зон обслуживания)

Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт радио» разработана методика измерения напряженности поля при определении зоны покрытия одиночной передающей станции наземного цифрового ТВ-вещания Стандарта DVB-T2 [1]. В методике измеряемые объекты определены следующим образом:

– *зона покрытия* – территория, в пределах которой величина напряженности поля равна или превышает величину минимальной медианной напряженности поля, определенную для конкретных условий приема и с заданной вероятностью охвата мест приема;
– *зона обслуживания* (зона уверенного приема) – территория, в пределах которой в присутствии внешних помех и шумов обеспечивается устойчивый прием ТВ-программ цифрового ТВ-вещания с заданным качеством приема;
– *минимальная медианная напряженность поля* (E_{med}, дБ(мкВ/м)) – минимальное значение напряженности поля, необходимое для обеспечения требуемого качества приема в заданном проценте мест приема при наличии естественного или промышленного шума, но без помех от других передатчиков.

В таблице 1 приведен перечень оборудования, используемого в методике при измерениях, и его метрологические характеристики.

ТАБЛИЦА 1. Требования к оборудованию измерительного комплекса

Наименование	Метрологические характеристики
Антенна пассивная направленная измерительная	Диапазон частот: от 174 до 790 МГц. КСВН: не более 2,5. Ширина диаграммы направленности по уровню минус 3 дБ в рабочем диапазоне частот, град: от 40 до 25. Погрешность калибровочного коэффициента ±2,5 дБ.
Измерительный приемник DVB-T2 с функцией анализатора спектра	Диапазон частот: от 100 до 1000 МГц. Верхняя граница диапазона установки полосы обзора: не менее 10 МГц. Погрешность измерения напряжения: не более 0,5 дБ.

Наименование	Метрологические характеристики
Калиброванные кабели снижения измерительных антенн	Диапазон частот: от 100 до 1000 МГц. КСВН: не более 2,5. Затухание в кабеле (для фиксированного приема): – для III диапазона: не более 2 дБ; – для IV диапазона: не более 3 дБ; – для V диапазона: не более 5 дБ. Погрешность калибровочного коэффициента 0,5 дБ.

Схема подключения оборудования при проведении измерений представлена на рис.1.

Согласно методике [1] процедура измерения содержит следующие этапы:

1. Измерительная антенна располагается в дальней зоне излучения антенны передатчика на расстоянии R, определяемом по формуле:

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}.$$

Здесь D – максимальный размер апертуры антенны, а λ – длина волны электромагнитного поля.

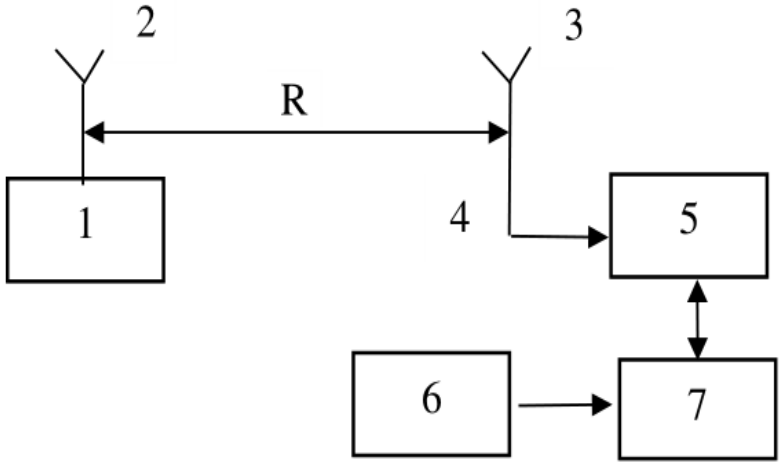


Рис. 1. Схема подключения оборудования при измерении напряженности электрического поля. 1 – передатчик; 2 – передающая антенна; 3 – направленная измерительная антенна; 4 – кабель снижения приемной антенны; 5 – измерительный приемник DVB-T2 с функцией анализатора спектра; 6 – навигационный приемник; 7 – компьютер

2. В соответствии с руководством по эксплуатации на измерительный прибор устанавливают соответствующие параметры – центральную частоту; – полосу обзора от 8 до 10 МГц; – полосу пропускания в пределах от 30 до 100 кГц и другие.

3. Процедура определения напряженности электромагнитного поля состоит в измерении напряжения сигнала $U_{\text{изм}}$ дБ (мкВ) на входе измерительного приемника и вычислении напряженности поля $E_{\text{и}}$ дБ(мкВ/м) по формуле:

$$E_{\text{и}} = U_{\text{изм}} + K_{\text{к}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{к}}$ – коэффициент калибровки измерительной антенны совместно со штатным кабелем на частоте излучения, дБ(1/м).

Измерение на станциях радиоконтроля

В рекомендации [2] определены требования к погрешности измерений напряженности поля и к параметрам аппаратуры, используемой для измерений на станциях радиоконтроля. Погрешность измерений, указанная в этой рекомендации, в зависимости от полосы частот составляет 2–3 дБ при условии отсутствия ограничений, вызванных внутренними шумами измерительного приемника, атмосферными шумами или внешними помехами.

В НИЛ «Радиоконтроля и электромагнитной совместимости» СПбГУТ совместно с федеральным государственным унитарным предприятием «Радиочастотный центр Приволжского федерального округа», г. Н. Новгород, разработана методика выполнения измерений напряженности поля на станциях радиоконтроля в диапазоне частот от 29,7 до 3000 МГц. Методика аттестована ФГУ «Нижегородский ЦСМ» зарегистрирована ФГУП ВНИИМС.

В табл.2 приведены средства измерений, используемые при выполнении методики.

Подвижные станции радиоконтроля должны иметь возможность изменять высоту измерительной антенны в пределах от 3 м до 10 м [2, 3] и поворотные устройства, позволяющие изменять направление приема поступающих сигналов.

Антенна должна иметь калибровочные данные во всем рабочем диапазоне частот антенны. Погрешность определения коэффициента усиления антенны на частотах выше 1 ГГц должна быть менее 1 дБ.

Оценку уровня электромагнитной безопасности для населения также оценивают путем измерения напряженности электромагнитного поля и сравнения полученных значений с требованиями норм [4].

ТАБЛИЦА 2. Средства измерений, применяемые при выполнении измерений напряженности поля излучений радиопередатчиков

Рекомендуемый тип средства измерений (СИ)	Основные метрологические характеристики СИ, используемые при проведении измерений	Наименование измеряемой величины
1. Установка радиоконтроля измерительная ИУ2 Госреестр № 25730-08	Диапазон рабочих частот не уже 0,1 … 3000 МГц. Ширина полосы анализа спектра В = 2,4…400 кГц	Напряженность электрического поля излучений радиопередатчиков
2. Анализатор спектра Agilent E7402A Госреестр № 25898-08 3. Анализатор спектра R&S FSP13 Госреестр № 26744-09	Погрешность измерения напряженности поля (совместно с измерительной антенно-фидерной системой) не более 4 дБ в диапазоне частот от 0,1 до 300 МГц и не более 3 дБ в диапазоне частот от 300 до 3000 МГц	

Погрешность измерения напряженности электрического поля

Как видно из метрологических характеристик измерительного оборудования, представленного в таблицах 1 и 2, погрешности параметров элементов измерительных комплексов и значение, оцениваемого ими напряжения, приводятся в децибелах. Логарифмическая оценка погрешности измерения используется и для напряженности поля, как это отмечено в таблице 2. Электрическую составляющую $E_{\text{и}}$ напряженности электромагнитного поля рассчитывают по формуле (1). Если $U_{\text{изм}}$ измерено с погрешностью δU (дБ), а $K_{\text{к}}$ – с погрешностью δK (дБ), то «напрашивается» следующая формула для вычисления суммарной погрешности измерения:

$$\delta E\ (\text{дБ}) = \delta U(\text{дБ}) + \delta K(\text{дБ})\ . \qquad (2)$$

Однако это неправильный подсчет погрешности. То, что справедливо для выражений, связывающих параметры и переменные, размерности которых представлены в метрических единицах, не применимо к выражениям,

связывающим логарифмические единицы. Формула для оценки напряженности поля в метрических единицах имеет вид

$$E_{и} = U_{изм} * K_{к}, \quad (3)$$

где напряженность поля $E_{и}$ представлена в вольтах на метр (В/м), напряжение на входе измерительного приемника $U_{изм}$ в вольтах (В), а калибровочный коэффициент антенны $K_{к}$ (антенный фактор) в 1/м.

Пусть относительные погрешности этих величин, выраженные в процентах (долях) соответственно равны δU, δK и δE. Тогда, применяя правило вычисления погрешности косвенного измерения величины $E_{и}$ [5] к формуле (3), получим $\delta E = \delta U + \delta K$.

Теперь, используя связь логарифмической δ(дБ) и относительной δ погрешности, имеющей вид δ(дБ)=20lg(1+δ), для напряженности поля найдем δE (дБ) =20lg(1+ $\delta U + \delta K$).

Пример. Пусть δU (дБ) = 1 (δU=0,122), а δK (дБ) = 3 (δK = 0,414). Тогда $\delta E = \delta U + \delta K$ = 0,122+0,414 = 0,536, а δE (дБ) = 20lg (1+ 0,536) = 3,7 дБ. В тоже время по формуле (2) получим δE (дБ) = 4, что соответствует δE = 0,585.

Сравнивая полученные результаты, для приведенного примера найдем, что погрешность вычисления δE по формуле (2) $\delta_{\delta E}$ = (0,585-0,536)/0,536 = 0,091 (9,1 %), а разница в децибелах составляет 0,3 дБ.

Заключение

1. Измерение напряженности электрического поля относится к косвенным измерениям и, в основном, должно выполняться по аттестованным методикам.

2. Погрешность измерения напряженности электрического поля должна рассчитываться как погрешность косвенных измерений.

3. Основной вклад в составляющую погрешности вносит погрешность антенного фактора измерительных антенн.

Список используемых источников

1. Об утверждении методики определения зоны обслуживания одиночной передающей станции наземного цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T2 и методики определения зоны обслуживания одночастотной сети передающих станций наземного цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T2: Решение ГКРЧ от 16 октября 2015 г. № 15-35-04.

2. Рекомендация МСЭ-R SM.378-7 «Измерение напряженности поля на станциях радио-контроля». Международный союз электросвязи. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.378-7-200702-I!!PDF-E.pdf (дата обращения 25.04.2025).

3. Рекомендация МСЭ-R SM.1875-1 «Измерение покрытия DVB-T и проверка критериев планирования». Международный союз электросвязи. https://www.itu.int/dms_pubrecitu-r/rec/sm/R-REC-SM.1875-1-201308-S!!PDF-R.pdf (дата обращения 25.04.2025).

4. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383–03. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. 22 с.

5. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1991. 304 с.

PROCEDURES FOR MEASURING ELECTROMAGNETIC FIELD STRENGTH FOR VARIOUS APPLICATIONS

Antipin B., Vinogradov E., Shabrova E.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The procedures for measuring the electrical component of the electromagnetic field strength are considered, which are used to evaluate areas of reliable reception of a television signal, service areas for communication system transmitters, for radio monitoring purposes and for tests related to the assessment of electromagnetic safety. The specifics of field strength measurements for various applications determine the relevant requirements for measurement conditions, as well as for the measuring instruments used, which are usually formulated in regulatory documents. Estimates of measurement errors are given.

Key words: *electromagnetic field strength, measuring antennas, measurement errors*

УДК 004.71
ГРНТИ 49.01.81

АНАЛИЗ КЛАССА IP СЕТИ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПОТЕРЬ ПАКЕТОВ

К. А. Батенков

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Указывается, что потери пакетов могут быть вызваны как переполнением буферов маршрутизаторов на пути следования вследствие резких всплесков поступающей нагрузки, так и из-за возможных искажений бит в передаваемых пакетах. Основываясь на данных показателях, определены шесть основных классов качества функционирования IP сетей и два временных.

сеть связи, телекоммуникационная сеть, показатель качества, потери пакетов, класс сети

Коэффициент потери IP пакетов p_l (*IP packet loss ratio – IPLR*) – отношение числа потерянных IP пакетов n_l к общему числу переданных $n + n_l$ (объем исследуемой выборки определяется как сумма доставленных n и потерянных пакетов n_l) [1]:

$$p_l = \frac{n_l}{n + n_l}.$$

Потери пакетов могут быть вызваны как переполнением буферов маршрутизаторов на пути следования вследствие резких всплесков поступающей нагрузки, так и из-за возможных искажений бит в передаваемых пакетах.

Коэффициент ошибок в IP пакетах p_e (*IP packet error ratio – IPER*) – отношение числа принятых IP пакетов с ошибками n_e к общему числу принятых n (объем исследуемой выборки определяется как сумма успешно принятых пакетов $n - n_e$ и принятых с ошибками n_e) [1]:

$$p_e = \frac{n_e}{n}.$$

Ошибки при передаче пакетов могут возникать вследствие как плохой помеховой обстановки, так и сетевых факторов, вызванных неточностями процедур дефрагментации и инкапсуляции пакетов.

Коэффициент неупорядоченности IP пакетов p_r (*IP packet reordered ratio – IPRR*) – отношение числа непоследовательно принятых IP пакетов n_r (пришедших к получателю не в том порядке, в котором были переданы) к общему числу успешно принятых $n - n_e$ (объем исследуемой выборки определяется как разность между общим числом принятых пакетов и принятых с ошибками n_e [2]) [1]:

$$p_r = \frac{n_r}{n - n_e}.$$

Подобное явление возникает, прежде всего, вследствие дейтаграммного режима доставки пакетов, что делает возможным их прохождение по различным маршрутам следования, возможно отличающимся временами задержки передачи.

Вообще удобно соотношения между пакетами представить графически (рисунок 1).

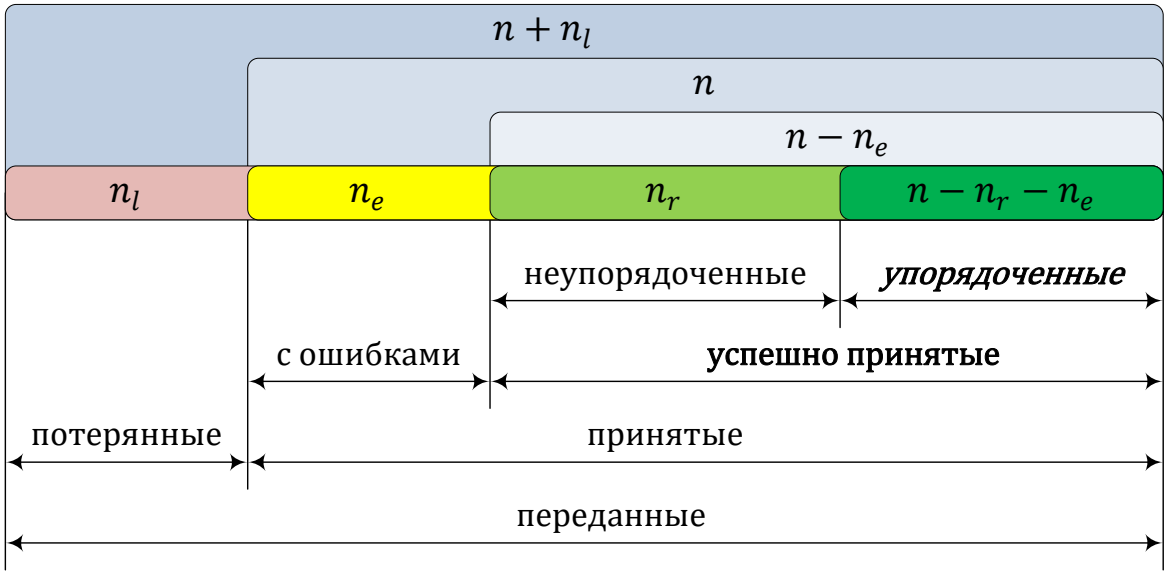


Рис. 1. Соотношения между передаваемыми пакетами

Основываясь на данных показателях, в [3] определены шесть основных классов качества функционирования IP сетей и два временных (табл. 1). Каждый из них задает комбинацию границ показателей качества [4]. При этом любой поток, удовлетворяющий соответствующим требованиям, соотносится с определенным классом. Отметим, что временные классы являются условными и их требования могут не соблюдаться существующими сетями связи до тех пор, пока границы показателей качества не будут уточнены на основе статистики действующих сетей [3].

ТАБЛИЦА 1. Классы качества функционирования IP сетей

параметр		IPTD	IPDV		IPLR	IPER	IPRR
граница		верхняя для среднего значения m_τ, с	порядок квантиля h	верхняя для квантиля v_h, мс	верхняя для p_l	верхняя для p_e	верхняя для p_r
основные классы	0	0,1	0,999	50	10^{-3}	10^{-4}	–
	1	0,4	0,999	50	10^{-3}	10^{-4}	–
	2	0,1	0,999	–	10^{-3}	10^{-4}	–
	3	0,4	0,999	–	10^{-3}	10^{-4}	–
	4	1	0,999	–	10^{-3}	10^{-4}	–
	5	–	0,999	–	–	–	–
временные классы	6	0,1	0,99999	50	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}
	7	0,4	0,99999	50	10^{-5}	10^{-6}	10^{-6}

Измеренные статистические данные для исследуемой IP сети приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Статистические данные исследуемой IP сети

Средняя задержка передачи данной группы пакетов, с	Число принятых пакетов	Число пакетов, принятых с ошибками	Число неупорядоченных пакетов	Число потерянных пакетов
0,066	90060	0	0	45
0,108	20940	0	0	
0,12	83800	0	0	
0,267	79800	1	1	
0,318	80510	1	1	
0,474	52220	0	1	
0,664	62970	0	0	
0,698	91	0	0	
3,1	28	1	1	

Число непринятых, принятых с ошибками и неупорядоченных пакетов вычисляется с учетом верхней границы времени задержки T_{max}:

$$n_l = n_l' + n_{n_g} = 45 + 28 = 73,$$

$$n_e = \sum_{i=1}^{n_g-1} n_{e,i} = 0 + 0 + 0 + 1 + 1 + 0 + 0 + 0 = 2,$$

$$n_r = \sum_{i=1}^{n_g-1} n_{r,i} = 0 + 0 + 0 + 1 + 1 + 1 + 0 + 0 = 3.$$

Соответствующие коэффициенты при этом равны:

$$p_l = \frac{n_l}{n+n_l} = \frac{73}{470391+73} = 1{,}55 \cdot 10^{-4},$$
$$p_e = \frac{n_e}{n} = \frac{2}{470391} = 4{,}25 \cdot 10^{-6},$$
$$p_r = \frac{n_r}{n-n_e} = \frac{3}{470391-2} = 6{,}38 \cdot 10^{-6}.$$

Список используемых источников

1. Rec. Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters. 2011–03. Geneva: ITU-T, 2011. 52 p.

2. Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. 2-е изд., исправл. и дополн. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 496 с.

3. Rec. Y.1541. Network performance objectives for IP-based services. 2006–02. Geneva: ITU-T, 2006. 50 p.

4. Батенков А. А. Вероятность связности телекоммуникационной сети на основе приведения нескольких событий несвязности к объединению независимых событий / А. А. Батенков, К. А. Батенков, А. Б. Фокин // Информационно-управляющие системы. 2021. № 6 (115). С. 53–63. DOI 10.31799/1684-8853-2021-6-53-63. EDN AOUANJ.

ANALYSIS OF THE IP NETWORK CLASS BY PACKET LOSS INDICATORS

Batenkov K.
Lomonosov Moscow State University

It is indicated that packet losses can be caused by overflowing of router buffers along the route due to sudden spikes in incoming load, or due to possible bit distortions in transmitted packets. Based on these indicators, six main classes of IP network performance quality and two temporary ones have been identified.

Key words: *communication network, telecommunication network, quality indicator, packet loss, network class*

УДК 621.391
ГРНТИ 49.03

ПЕРСПЕКТИВЫ ДЕКОДИРОВАНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ НА ГРАФИЧЕСКОМ ПРОЦЕССОРЕ

В. И. Бобровский, Д. С. Кукунин, Н. С. Баталин, С. В. Подайко, К. А. Шибаленков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Технологии параллельных вычислений востребованы при выполнении ресурсоемких прикладных задач с целью уменьшения времени их решения. В настоящее время большой популярностью пользуется организация параллельных вычислений средствами графического процессора. В настоящей работе предложены подходы к адаптации процедуры декодирования помехоустойчивых кодов для последующих вычислений на графическом процессоре. Предложенные адаптации рассматриваются, как оптимизация циклических кодов, с целью повышения их быстродействия.

параллельные вычисления, графический процессор, GPU

Графические процессоры изначально были использованы исключительно для графических вычислений. Их развитие во многом обусловлено развлекательной функцией персональных компьютеров, в частности, в сфере игровых программ [1]. Исследования по использованию графических процессоров для общих (неграфических) вычислений ведутся, с начала 21 века.

Главным отличием центрального (CPU) и графического (GPU) процессора является то, что CPU созданы для исполнения одного потока последовательных инструкций с максимальной производительностью, а GPU разрабатываются для быстрого исполнения большого числа параллельно выполняемых потоков инструкций [2]. Учитывая эти особенности, выполнение параллельных вычислений на GPU актуально, когда одну и ту же последовательность математических операций можно применить к большому объему данных [3].

В зависимости от процессора, исполняющего программный код, на сегодняшний день принято следующее разделение: хост (host) – центральный процессор компьютера и устройство (device) – графический процессор [4]. Хост и устройство имеют отдельную память (рис. 1). В задачи хоста входит организация процедуры копирования данных между различными видами

памяти, а также передача команд управления. Обмен данными между хостом и устройством осуществляется по PCI шине. Необходимость в обмене данными между хостом и устройством ставит разработчику задачу по минимизации объема обмениваемой информации с целью сокращения общего времени работы программы.

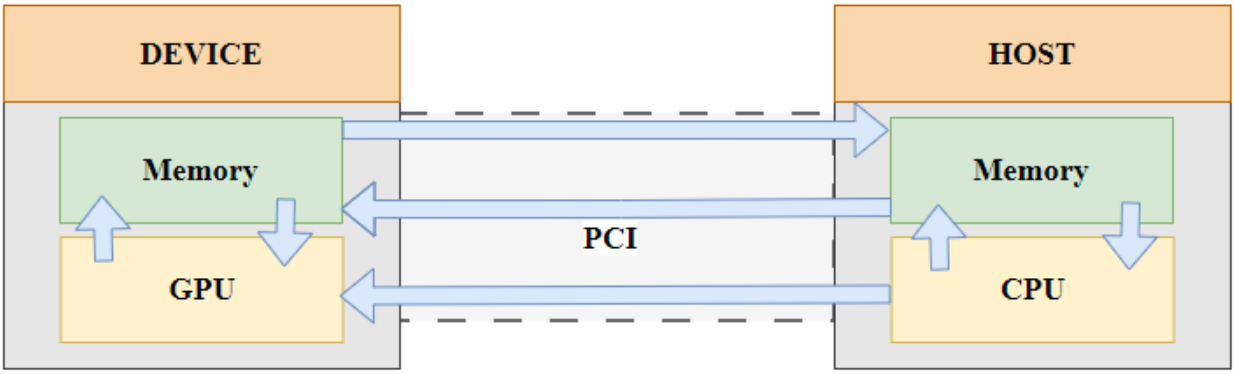


Рис. 1. Взаимодействие хоста и устройства

В настоящей работе прикладное применение параллельных вычислений ориентировано на декодирование помехоустойчивых кодов, поскольку эта процедура является гораздо более трудоемкой, чем кодирование.

Для реализации параллельных вычислений удобно рассматривать повторяющиеся операции, независящие друг от друга. Среди таких операций можно выделить вычисление синдромов, характерное для декодирования таких кодов, как код Хэмминга, БЧХ и Рида-Соломона.

В качестве примера приведем вычисление синдрома для систематического кода Хэмминга (7,4). Синдром S вычисляется как произведение принятого вектора U на некоторую проверочную матрицу H:

$$S_{(1\times3)} = U_{(1\times7)} * H^{T}_{(7\times3)} = \begin{vmatrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 & u_5 & u_6 & u_7 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \\ h_{41} & h_{42} & h_{43} \\ h_{51} & h_{52} & h_{54} \\ h_{61} & h_{62} & h_{63} \\ h_{71} & h_{72} & h_{73} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} s_1 & s_2 & s_3 \end{vmatrix},$$

где каждый элемент вектора S может быть найден при помощи выражения:

$$s_{ij} = \sum_{n=1}^{7} u_{in} * h_{nj}. \qquad (1)$$

Таким образом, элементы синдрома *S* для кода Хэмминга могут быть вычислены параллельно по формуле (1).

Для кодов БЧХ и Рида-Соломона синдромы вычисляются как значения принятого вектора *U(x)* в нулях кода [5]:

$$S_i = U\left(\varepsilon^i\right),$$

где $i \in [0;2t]$, t – кратность гарантированно исправляемых ошибок; ε^i – корни порождающего полинома *g(x)*.

Таким образом, для кодов БЧХ и Рида-Соломона можно параллельно вычислить $2t$ синдромов.

Говоря о кодах БЧХ и Рида-Соломона, стоит также упомянуть возможность распараллеливания метода Ченя. Данный метод используется в указанных кодах для определения позиций ошибок. Согласно методу Ченя, для всех ненулевых элементов $\beta \in GF(2^m)$ проверяется условие:

$$\sigma(\beta^{-1}) = 0, \qquad (2)$$

где $\sigma(x)$ – полином локаторов ошибок [5]. Проверку условия (2) можно выполнять параллельно для каждого ненулевого элемента β. Количество параллельных операций для расширенного поля Галуа $GF(2^m)$ будет составлять $2^m - 1$.

Помимо приведенных примеров синдромного декодирования, существуют также методы, основанные на мажоритарном принципе, которые были предложены различными авторами [6, 7].

В обеих работах [6, 7] используется принцип принятия решения на основе накопленной статистики, полученной в результате обработки участков рекуррентной последовательности, поступившей на вход декодера. Поскольку обработка каждого участка производится независимо друг от друга, данный этап декодирования также можно реализовать, используя принцип параллельных вычислений.

Таким образом, в данной работе предложена оптимизация процедуры декодирования помехоустойчивых кодов средствами распараллеливания промежуточных шагов для их вычисления на графическом процессоре. В дальнейшем рекомендуется проведение исследований с целью оценки эффективности вычислений на графическом процессоре для циклических кодов различной длины. При этом основным критерием эффективности в данном случае следует считать прежде всего быстродействие.

Список используемых источников

1. Мирзоян Д. И. Основные аспекты применения GPGPU систем / Д. И. Мирзоян // Современные информационные технологии и ИТ-образование, 2011. № 7. С. 988–994.

2. Кротов Д. А. Применение техники GPGPU при интеллектуальном анализе больших массивов данных / Д. А. Кротов, Ю. А. Скудняков // Информационные системы и технологии ИСТ-2020 : Сборник материалов XXVI Международной научно-технической конференции, Нижний Новгород, 24–28 апреля 2020 года / Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева. Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, 2020. С. 359–361.

3. Старовойтов И. Н. Параллельные вычисления на графических процессорах / И. Н. Старовойтов, Е. Н. Ревняков, Е. Н. Полякова // Первая Международная научная конференция по проблемам цифровизации: EDCRUNCH URAL–2020: материалы конференции (Екатеринбург, 29–30 сентября 2020 г.). Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2020. С. 314–319.

4. Тумаков Д. Н. Технология программирования CUDA: учебное пособие / Д. Н. Тумаков, Д. Е. Чикрин, А. А. Егорчев, С. В. Голоусов. Казань: Казанский государственный университет, 2017. 112 с.

5. Владимиров С. С. Практика помехоустойчивого кодирования. Циклические коды: практикум / С. С. Владимиров, О. С. Когновицкий; СПбГУТ. СПб, 2019. 44 с.

6. Когновицкий О. С. Двойственный базис и его применение в телекоммуникациях / О. С. Когновицкий. СПб.: Линк, 2009. 423 с.

7. Кукунин Д. С. Перспективы использования рекуррентных последовательностей в современной телекоммуникационной среде: монография / Д. С. Кукунин, О. С. Когновицкий, А. А. Березкин, Р. В. Киричек. СПб: СПбГУТ, 2023. 289 с.

PROSPECTS OF CORRECTION CODES DECODING ON A GRAPHICS PROCESSING UNIT

Bobrovsky V., Kukunin D., Batalin N., Podaiko S., Shibalenkov K.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Parallel computing technologies are in demand in account of performing resource-intensive applied tasks in order to reduce the time of their solution. Nowadays organization of parallel computations by means of graphics processing unit is popular. In this paper approaches of correction codes decoding procedure adaptation for computations on a graphics processing unit are proposed. The proposed adaptations are considered as optimization of cyclic codes in order to improve their performance.

Key words: *parallel computations, graphics processing unit, GPU*

УДК 621.391
ГРНТИ 47.05.03

МОДЕЛИРОВАНИЕ САМОСИНХРОНИЗИРУЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В. И. Бобровский, Д. С. Кукунин, Е. И. Книгиницкий

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматриваются принципы кодового уплотнения с возможностью построения самосинхронизирующейся системы передачи данных. Предлагается модель для сетей множественного доступа. Оценивается шумозащищенность системы.

М-последовательность, фантомный канал, множественный доступ

Введение

Повсеместное распространение сетей «один ко многим» обуславливает необходимость развития соответствующей технологии множественного доступа [1]. Предложенная технология самосинхронизирующегося сигнала имеет высокий потенциал при передаче данных нескольким абонентам, удаленным на значительное расстояние от базовой станции для синхронизации.

Таким образом, основная цель данной работы состоит в моделировании канала связи, который обеспечивает реализацию технологии множественного доступа с кодовым разделением на основе последовательностей максимальной длины.

Описание модели

Модель системы строится в пакете SciLab и состоит из двух основных узлов: источника радиосигнала и приемника. В задачи источника входит обработка блока данных в соответствии с методикой для формирования передаваемого сигнала, а также добавление АБГШ, случайного коэффициента передачи радиочастотного тракта и пустых шумовых помех перед началом трансляции и после ее окончания. В задачи приемника входит восстановление исходного сигнала и выделение передаваемого блока данных.

Для формирования передаваемого сигнала образующая М-последовательность [2] с периодом $2^k - 1$ и блок данных длиной $2^k - 2$ преобразуется из однополярного вида (0;1) к биполярному (-1; +1). Затем полученная М-последовательность удваивается по длине и используется как образую-

щая для расширения спектра методом прямой последовательности [3]. При этом для обработки битов, соответствующих неиспользуемым каналам в первой М-последовательности бит данных принимается за +1, а во второй за -1. Также нулевой сдвиг отводится под фантомный канал [4]. Более подробно методика описана в [1].

После формирования сигнальная пара дублируется необходимое количество раз для введения избыточности и повышения шумозащищенности. Перед началом и после окончания добавляются нулевые отрезки, в которых отсутствуют данные. К каждому чипу сигнала добавляется АБГШ, нормированный к 1, как минимальному шагу сигнала. Полученный сигнал масштабируется по амплитуде со случайным коэффициентом для моделирования затухания в канале. Масштабирование производится только при моделировании амплитудной модуляции.

Полученный сигнал содержит основные параметры реальной системы, так как любое искажение радиосигнала в конечном счете приводит к погрешности демодуляции, что выражено случайной добавкой к каждому чипу.

На приемной стороне цепочка чипов сворачивается с усреднением до длины, вдвое превышающей длину М-последовательности. При этом случайные шумы взаимно компенсируются. Полученная сигнальная пара требует восстановления масштаба только при использовании амплитудной модуляции.

Для восстановления масштаба максимальный по амплитуде чип считается близким к $2^k - 2$, исходя из этого за единицу принимается минимальный по амплитуде чип, больший чем $q/(2^k - 2)$ от максимального чипа. Здесь $q = 0{,}7$ – подборный коэффициент. В соответствии с этим допущением масштабируется остальной сигнал. Такой метод хорошо себя проявляет при $k = 4$, однако с ростом k количество ошибок значительно возрастает.

После получения исходных уровней сигнала необходимо найти чип, соответствующий началу передачи для точного распределения битов по абонентам. Для каждого участка сигнальной пары длиной k вычисляется дискретный логарифм в поле Галуа [5] от комбинации цикловой фазы (КЦФ). При этом из-за свойств КЦФ [1] сигнала такого вида образуются линейно возрастающие участки, где результат логарифмирования соответствует отстройке участка от начального чипа. Благодаря этому каждая вычисленная величина точно указывает на начало и нулевой чип выбирается по большинству указателей. Таких чипов в сигнале оказывается 2 из-за использования

пары М-последовательностей, однако они отстоят друг от друга на $2^k - 1$ и соединяются при дальнейшей свертке.

Для выделения данных сигнальная пара сворачивается еще раз до длины $2^k - 1$. При этом М-последовательности неиспользуемых каналов взаимно компенсируются. Для выделения данных по каждому каналу находится автокорреляционная функция (АКФ) сигнала с М-последовательностью, сдвинутой на сумму номера канала и номера стартового чипа.

Для М-последовательности (МП) длиной $2^4 - 1 = 31$ и выборки в 1000 посылок зависимости доли ошибок от амплитуды шумов представлены на рисунке 1. Здесь шум выражен в долях от минимального кодового расстояния сигнала.

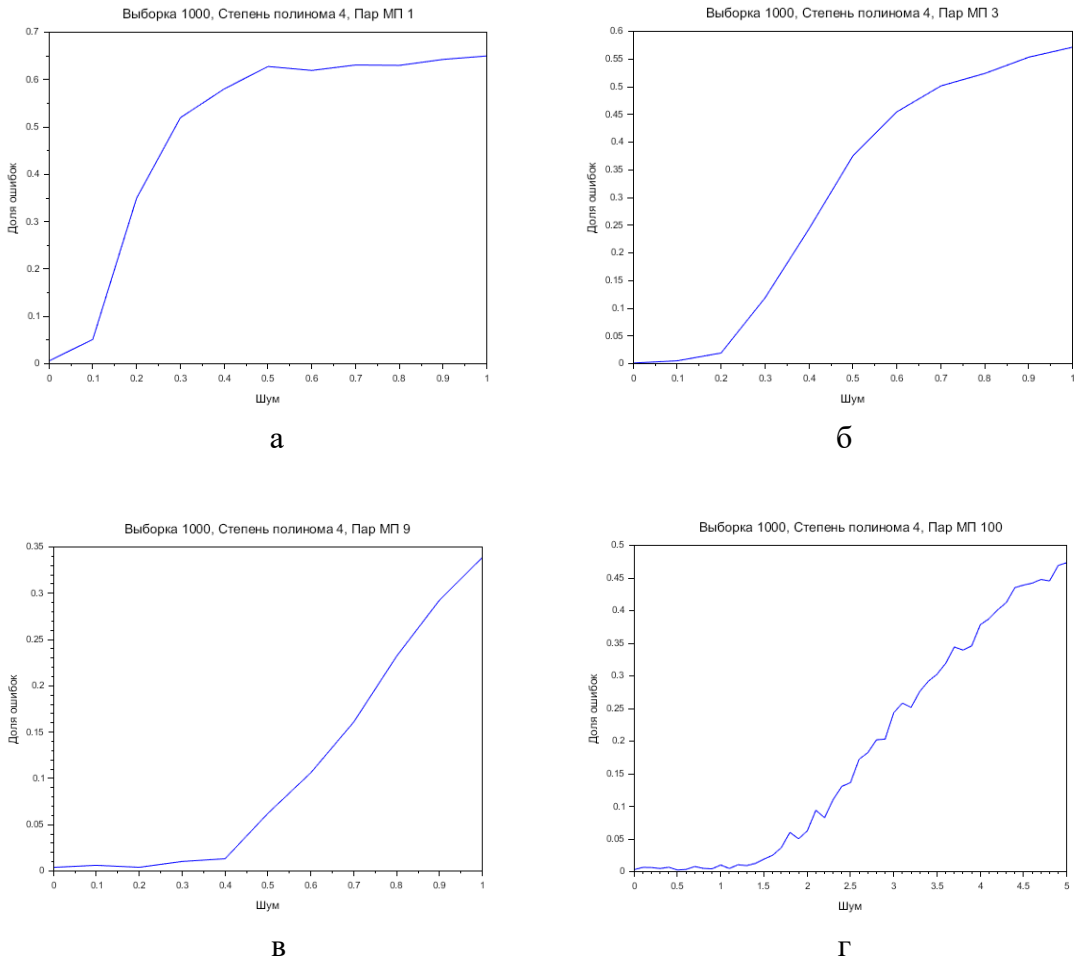


Рис. 1. Зависимость доли ошибок от уровня шума а) 1 пара МП, б) 3 пары МП, в) 9 пар МП, г) 100 пар МП (шум от 0 до 5 минимальных кодовых расстояний сигнала)

Как можно заметить из представленных графиков, увеличение числа пар М-последовательностей повышает устойчивость системы к шумам. Кроме того, большое количество пар позволяет реализовать передачу в канале, в котором уровень шумов превышает минимальное кодовое расстояние.

Заключение

В результате в работе была построена модель перспективного алгоритма передачи данных «один ко многим», готовая к проведению статистических исследований. Получены некоторые характеристики шумозащищенности системы. Выявлена необходимость улучшения алгоритма восстановления масштаба сигнала на приеме или полного отказа от применения амплитудных видов модуляции.

Список используемых источников

1. Кукунин Д. С. и др. Асинхронная передача данных с использованием многослойных ортогональных структур в системах с кодовым разделением каналов // Электросвязь, 2023. № 1. С. 26.

2. Кукунин Д. С. и др. Перспективы использования рекуррентных последовательностей в современной телекоммуникационной среде // СПб: СПбГУТ. 2023.

3. Когновицкий О. С. Широкополосные сигналы данных с расширением спектра прямой последовательностью и их характеристика // Труды учебных заведений связи, 2016. Т. 2. № 1. С. 82–89.

4. Кукунин Д. С., Березкин А. А., Киричек Р. В. Использование фантомных каналов в качестве катализаторов усиления ортогональных свойств М-последовательностей в системе с кодовым разделением каналов // Труды Научно-исследовательского института радио, 2022. № 1. С. 37.

5. Когновицкий О. С. Двойственный базис и его применение в телекоммуникациях. СПБ.: Линк, 2009. 423 с.

SIMULATION OF A SELF-SYNCHRONIZING DATA TRANSMISSION SYSTEM

Bobrovskii V., Kukunin D., Kniginickii E.
The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications

The article discusses the principles of code compression with the possibility of building a self-synchronizing data transmission system. A model for multiple access networks is proposed. The noise immunity of the system is evaluated.

Key words: *M-sequence, phantom channel, multiple access*

УДК 004.855
ГРНТИ 28.23.15

АНАЛИЗ ФРЕЙМВОРКОВ ДЛЯ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. В. Бородко, О. И. Пантюхин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Искусственный интеллект все глубже интегрируется в повседневную жизнь и коммерческие процессы, становясь важным инструментом в сфере техники и искусства. Однако, несмотря на быстрый прогресс в этой области, остаются значительные пробелы в поиске оптимальных решений для повышения эффективности использования существующих методов и алгоритмов генерации изображений. Статья рассматривает существующие методы и алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ), применяемые для генерации изображений с использованием глубоких нейронных сетей и машинного обучения. В рамках исследования были протестированы реализации генеративно-состязательных алгоритмов на нескольких популярных фреймворках: Tensorflow, Keras и Pytotch.

искусственный интеллект, компьютерное зрение, машинное обучение, генеративно-состязательная нейросеть, фреймворк

Статья посвящена анализу существующих методов и алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) для генерации изображений на основе глубоких нейронных сетей и алгоритмах машинного обучения. В статье детально рассматриваются технические аспекты функционирования генеративно-состязательной нейросети, включая архитектуру, процесс обучения, генерацию изображений, а также методы оптимизации и применения.

В статье протестирована реализация генеративно-состязательных алгоритмов создания изображений на следующих фреймворках [1]:

1. *Tensorflow* – это популярная библиотека с открытым исходным кодом для машинного обучения и нейросетей, разработанная Google.

2. *Keras* – это высокоуровневая библиотека для нейросетей, которая раньше была самостоятельной, но с TensorFlow 2.x была интегрирована в TensorFlow как основной API для построения моделей. Keras предоставляет простые интерфейсы для быстрого создания и обучения моделей.

3. *Pytorch* – это еще одна популярная библиотека с открытым исходным кодом, разработанная Facebook AI Research [2].

Генеративно-состязательные нейросети (GAN)

Генеративные состязательные сети (GAN) состоят из двух основных компонентов [3]:

Генератор (Generator) – нейронная сеть, создающая изображения. Генератор изучает базовое распределение данных, т.е. он принимает в качестве входных данных случайное распределение (шум) и изучает функцию, которая отображает случайное распределение в фактическое базовое распределение.

Дискриминатор (Discriminator) – нейронная сеть, оценивающая, насколько правдоподобным является сгенерированное изображение. Дискриминатор является двоичным классификатором. В качестве входных данных он принимает изображения и выводит вероятность того, что изображение является реальным или сгенерированным.

Дискриминатор обучается на основе размеченных реальных и сгенерированных данных и использует функцию потерь бинарной кросс-энтропии (BCE – binary cross-entropy loss) для настройки своих весов. Он стремится минимизировать свою ошибку, правильно классифицируя изображения как реальные или сгенерированные.

Генератор, в свою очередь, использует потери дискриминатора как показатель качества сгенерированных им изображений. Задача генератора состоит в том, чтобы настроить свои веса таким образом, чтобы потери BCE от дискриминатора были максимальными, эффективно «обманывая» дискриминатор, как показано на рис. 1.

Обучение генератора строится на максимизации функции потерь дискриминатора, в то время как дискриминатор стремится минимизировать свою ошибку.

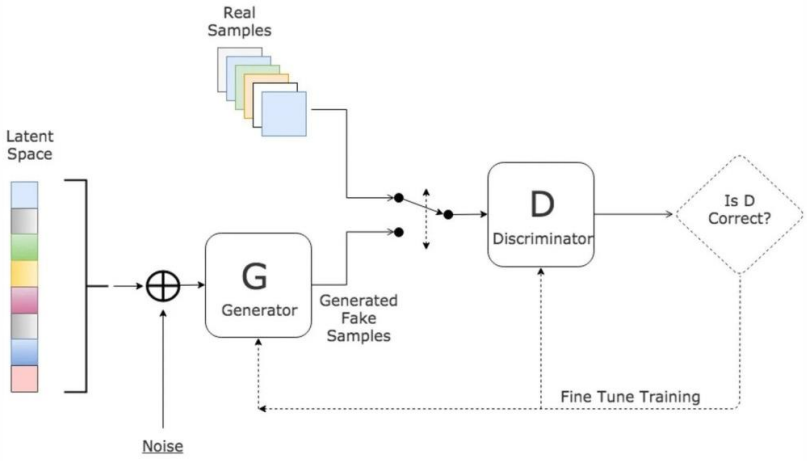


Рис. 1. Структура генеративной-состязательной нейросети

При обучении на центральном процессоре (CPU) на одну эпоху будет уходить порядка двух минут. Для получения приемлемого результата понадобится порядка 50 эпох, поэтому общее время обучения при использовании процессора составляет около 100 минут. Чтобы сократить время обучения, можно использовать графический процессор (GPU).

Генерация изображений в градации серого (1 канал)

Для обучения генератора изображений в градациях серого использовался датасет MNIST, состоящий из 70 000 черно-белых изображений цифр от 0 до 9 размером 32x32 пикселей в градациях серого.

Структура нейронной сети GAN, использованная для генерации изображений (рис. 2) состоит из:

1. Дискриминатора (Discriminator)

Вход: Вектор размерности 784 (32x32 пикселей изображения, преобразованные в одномерный вектор).

Состоит из 4 полносвязных слоев:

– Первый слой: Linear (784, 1024) с BatchNorm1d и LeakyReLU активацией.
– Второй слой: Linear (1024, 512) с BatchNorm1d и LeakyReLU активацией.
– Третий слой: Linear (512, 256) с BatchNorm1d и LeakyReLU активацией.
– Четвертый слой: Linear (256, 1) с функцией активации Sigmoid.
– Также использует Dropout (0.3) для регуляризации.

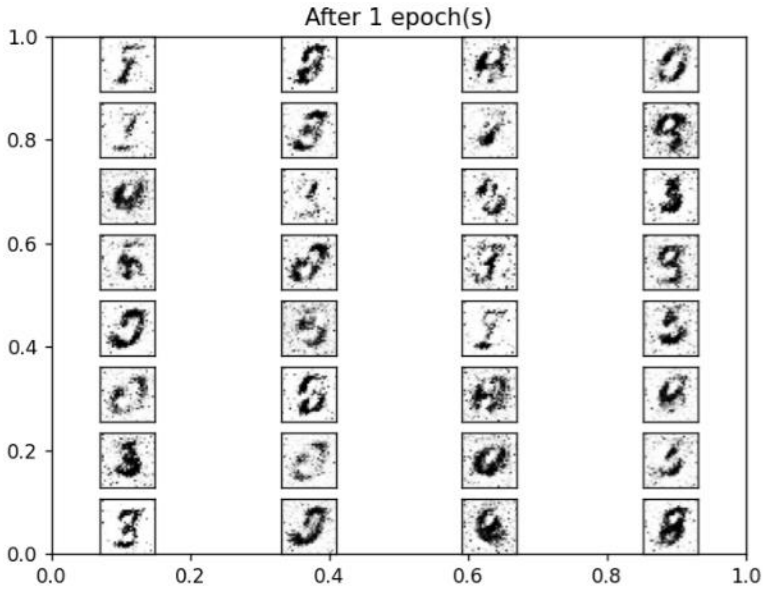


Рис. 2. Генерируемые изображения в градации серого на этапе обучения

2. Генератора (Generator)

Вход: Вектор случайных чисел размерностью 100.

Состоит из 4 полносвязных слоев:

– Первый слой: Linear (100, 256) с BatchNorm1d и LeakyReLU активацией.
– Второй слой: Linear (256, 512) с BatchNorm1d и LeakyReLU активацией.
– Третий слой: Linear (512, 1024) с BatchNorm1d и LeakyReLU активацией.
– Четвертый слой: Linear (1024, 784) с LeakyReLU активацией для генерации выходного вектора данных (пикселей изображения).
– Выходной вектор преобразуется в матрицу формата 32x32 пикселей.

Обе сети используют LeakyReLU активации, BatchNorm для нормализации, а дискриминатор завершает свою работу с сигмоидной активацией для классификации изображений как реальные или сгенерированные.

Генерация цветных изображений (3 канала)

Обучение генератора цветных изображений проводилось на изображениях собак из датасета CIFAR-10, содержащем 60 000 цветных фотографий размером 32x32 пикселя в 10 категориях.

Структура нейронной сети GAN, использованная для генерации изображений (рис. 3) состоит из:

1. Дискриминатора (Discriminator)

Вход: Изображение размером (3, 32, 32) (RGB изображение).

Состоит из 4 сверточных слоев:

– Первый слой: Conv2d (3, 64, kernel_size = 5, stride = 2, padding = 2) с LeakyReLU активацией и Dropout (0.4).
– Второй слой: Conv2d (64, 64, kernel_size = 3, stride = 2, padding = 1) с LeakyReLU активацией и Dropout (0.4).
– Третий слой: Conv2d (64, 64, kernel_size = 3, stride = 2, padding = 1) с LeakyReLU активацией и Dropout (0.4).
– Четвертый слой: Linear (64 * 4 * 4, 1) для вывода одного значения с Sigmoid активацией
– Выход: Вероятность того, что изображение является настоящим (реальным).

2. Генератора (Generator)

Вход: Вектор случайного шума размерностью 100 элементов состоит из 4 полносвязных и 3 сверточных транспонированных слоев:

– Первый слой: Linear (100, 128 * 4 * 4) с LeakyReLU активацией, затем reshape в размер (128, 4, 4).
– Второй слой: ConvTranspose2d (128, 128, kernel_size = 4, stride = 2, padding = 1) с BatchNorm2d и LeakyReLU активацией (увеличение размера изображения).
– Третий слой: ConvTranspose2d (128, 128, kernel_size = 4, stride = 2, padding = 1) с BatchNorm2d и LeakyReLU активацией.

Четвертый слой: ConvTranspose2d(128, 3, kernel_size = 4, stride = 2, padding = 1) с Tanh активацией для вывода изображения размером (3, 32, 32).

Выход: Сгенерированное изображение (3 канала, размером 32x32 пикселя).

Обе сети используют LeakyReLU активации для предотвращения исчезновения градиентов, а генератор завершается Tanh активацией, чтобы выходные пиксели лежали в пределах от -1 до 1

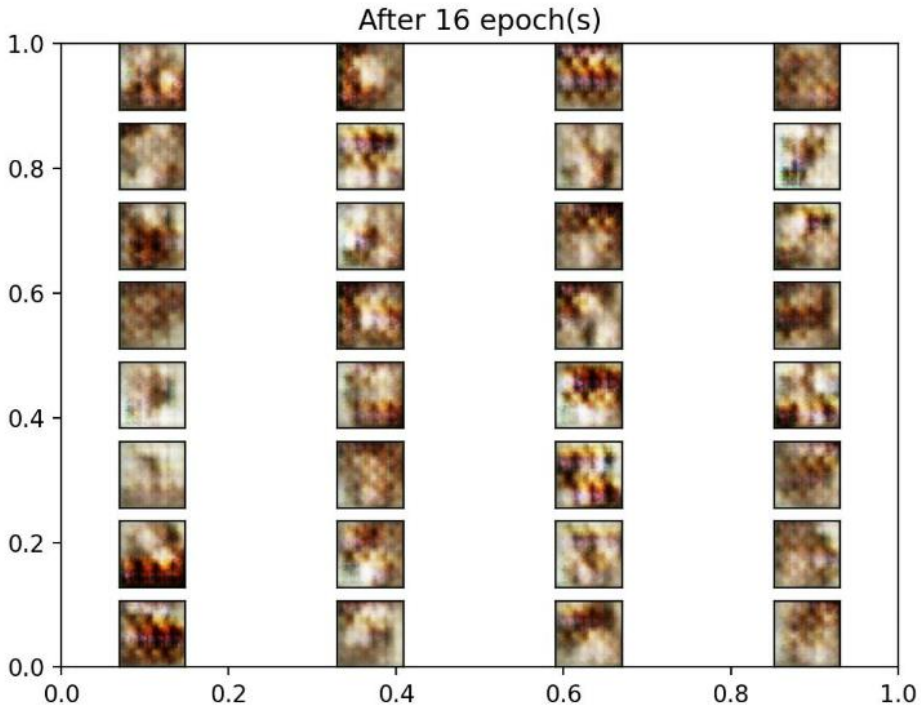


Рис. 3. Генерируемые цветные изображения на этапе обучения

Анализ производительности

Для оценки производительности фреймворков моделей ИИ использовался подготовленный тестовый стенд на платформе Windows с характеристиками, приведенными в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Характеристики тестовой ЭВМ

Конфигурация	
Тестовый ЭВМ	Процессор Core i7 7700K Плата GA-Z170X-Gaming Память 32 GB DDR4 3200 МГц Видеокарта (GPU) GeForce GTX 1060 1506 МГц Видеокарта (Память) 6 GB DDR5 3200 МГц
Программная среда	
Операционная система	Windows 10 Pro
Графический драйвер	Nvidia GeForce/ION Driver Release 417.35
Программа мониторинга производительности	MSI Afterburner v 4.5

Для анализа затрачиваемых аппаратных ресурсов при обучении моделей соберем данные по нагрузке на устройство и потребляемые ресурсы без запуска моделей ИИ и в процессе обучения модели генерации одноканальных и цветных изображений на ЭВМ, разностные значения нагрузки приводятся в таблицах 2-5.

ТАБЛИЦА 2. Потребляемые ресурсы при обучении модели генерации изображений на Pytorch

	1 канал	3 канала
GPU (%)	40 %	53 %
Memory	1,4 Gb	1,3 Gb
Execution time	0 H 33 M 26 S	0 H 24 M 0 S

ТАБЛИЦА 3. Потребляемые ресурсы при обучении модели генерации изображений на Tensorflow/keras

	1 канал	3 канала
GPU (%)	21 %	26 %
Memory	3,9 Gb	3,2 Gb
Execution time	4 H 20 M 10 S	0H 40 M 10S

ТАБЛИЦА 4. Сравнение потребляемых ресурсов при обучении модели генерации изображений в градациях серого

	Pytorch	Tensorflow/Keras
GPU (%)	40 %	21 %
Memory	1,4 Gb	3,9 Gb
Execution time	0 H 33 M 26 S	4 H 20 M 10 S

ТАБЛИЦА 5. Сравнение потребляемых ресурсов при обучении модели генерации цветных изображений

	Pytorch	Tensorflow/Keras
GPU (%)	53 %	26 %
Memory	1,3 Gb	3,2 Gb
Execution time	0 H 24 M 0 S	0H 40 M 10S

Заключение

На основе полученных в результате исследования данных, можно сделать вывод, что фреймворк Pytotch потребляет значительно большее количество ресурсов и процессора и памяти, однако работает значительно быстрее. Tensorflow/keras, в свою очередь работают гораздо более продолжительное время, однако требуют меньше вычислительных ресурсов и генерируют более качественные изображения.

Глубина изображения напрямую влияет на потребление ресурсов и памяти, т.к. при генерации цветных изображений добавляется новое пространство данных. На данном примере время работы моделей, генерирующих цветные изображения и изображения в градациях серого не сильно отличается, т.к. был выбран датасет, содержащий 70000 черно-белых изображений и всего 10000 цветных изображений. Время исполнения алгоритмов, в целом, сравнимо, поэтому, можно сказать, что генерация цветных изображений, в среднем, увеличивает время исполнения в 10 раз.

Подводя итоги, можно сказать, что при достаточных вычислительных ресурсах и ограниченном времени для генерации изображений любой цветности рекомендуется использовать фреймворк Pytorch.

Список используемых источников

1. Друки А. А., Спицын В. Г. Применение нейросетевых алгоритмов для семантической сегментации спутниковых снимков поверхности Земли // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 63. С. 62–71.

2. Paszke, A., et al. Pytorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library. 33rd Annual Conference on Neural Information Processing Systems, Vancouver, 8-14 December 2019. URL: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2019/file/bdbca288fee7f92f2bfa9f7012727740-Paper.pdf (дата обращения 17.11.2024).

3. Jinliang N. Cifar10 image classification based on ResNet. Системный анализ в проектировании и управлении. 2019. № 2 том XXVII. С. 412–421.

4. Priyanka G., Bosheng D., Chong G. Generative AI: A systematic review using topic modelling techniques. Data and Information Management, 2024. Volume 8, Issue 2. URL: https://www.researchgate.net/publication/378366996_Generative_AI_A_ systematic_review_ using_topic_modelling_techniques (дата обращения 17.11.2024).

ANALYSIS OF FRAMEWORKS FOR GENERATIVE ADVERSARIAL IMAGE GENERATION

Borodko A., Pantuhin O.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Artificial intelligence is becoming increasingly integrated into everyday life and commercial processes, emerging as a crucial tool in the fields of technology and art. However, despite rapid progress in this area, significant gaps remain in finding optimal solutions to enhance the efficiency of existing methods and algorithms for image generation. The article examines current artificial intelligence methods and algorithms used for generating images with deep neural networks and machine learning. As part of the study, implementations of generative adversarial algorithms were tested on several popular frameworks: TensorFlow, Keras and PyTorch.

Key words: *artificial intelligence, computer vision, machine learning, generative adversarial network, framework*

УДК 004.946
ГРНТИ 20.53.23

ПРОБЛЕМА ВОСПРИЯТИЯ МЕТАМЕРНЫХ ПАР ПРИ НАЛОЖЕНИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА РЕАЛЬНЫЕ: НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ

А. Н. Бучатский, Д. Д. Кузьмина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной статье исследуется проблема метамеризма в системах смешанной реальности при интеграции виртуальных объектов в реальные сцены. Метамеризм, проявляющийся как визуальное совпадение объектов с различными спектральными характеристиками, представляет существенную проблему для создания реалистичных систем смешанной реальности. В работе проводится анализ основных факторов, влияющих на возникновение метамерных пар и рассматриваются существующие подходы к решению данной проблемы. Авторами проведен эксперимент, который обеспечил необходимую эмпирическую базу для решения проблемы метамеризма в системах смешанной реальности.

метамеризм, смешанная реальность, виртуальное освещение, адаптивное освещение

Метамеризм – явление, при котором виртуальные и реальные объекты, освещенные различными источниками света или имеющие разные характеристики освещения, воспринимаются как визуально совпадающие, несмотря на их физические различия [1].

Метамеризм в смешанной реальности возникает по следующим причинам: неоднородность освещения, проблемы с профилями цвета и калибровкой, особенности восприятия человеческим глазом, различия в характеристиках источников света, технические ограничения оборудования, ошибки в рендеринге [2].

Тема метамеризма в смешанной реальности актуальна сегодня из-за роста применения виртуальных технологий в сфере бизнеса, развлечений, образования и напрямую влияет на иммерсивность пользовательского опыта [3]. Одной из ключевых задач в этой области является создание реалистичного освещения, которое позволяет виртуальным объектам органично вписываться в окружающее пространство [4].

Ввиду отсутствия единой терминологии, в данной работе используется определение, закрепленное американским национальным стандартом CTA-

2069-A (ноябрь 2020 г.), разработанным организацией Consumer Technology Association (CTA), в котором смешанная реальность определяется как окружение, создаваемое сочетанием физических и цифровых миров [5].

На сегодняшний день не существует универсального подхода, полностью устраняющего проблему метамеризма в смешанной реальности. Основные исследовательские направления включают методы восстановления параметров сцены, машинное обучение и нейросетевые методы, а также трассировку лучей [6]. Анализ теней и использование RGBD-изображений позволяет приблизительно оценивать координаты источников света, но этот подход ограничен в условиях сложных источников света и рассеянного освещения [7]. Нейросетевые модели требуют значительных вычислительных мощностей и больших наборов данных для обучения. Кроме того, обучающие наборы данных могут не соответствовать реальным условиям освещения, что снижает точность моделей [8]. Несмотря на точность, метод трассировки лучей ограничен сценами с четко определенными источниками света и плохо работает в условиях мягких теней и сложного рассеянного освещения [9].

В рамках работы был проведен комплексный эксперимент, целью которого являлась объективная верификация присутствия метамерического эффекта при интеграции виртуальных объектов в реальное пространство.

Необходимость эксперимента обусловлена тем, что существующие теоретические модели не дают количественной оценки степени проявления метамеризма в условиях смешанной реальности. Предполагалось, что именно подтверждение данного феномена и определение его количественных характеристик позволит сформировать методологическую основу для последующей разработки системы адаптивного освещения.

В ходе эксперимента использовалась контролируемая световая среда с калиброванным источником света (профессиональный студийный осветитель с цветовой температурой 3200K), а также серый образец с известными спектральными характеристиками. Виртуальный аналог этого образца был создан с использованием физически корректной модели освещения в среде Unreal Engine 5.

Исходные данные изначально существуют в RGB-пространстве (как в Unreal Engine, так и в камере), для научно обоснованного анализа цветовых различий необходимо преобразование в перцепционно равномерное пространство, каким является CIELAB. Это обеспечивает соответствие числовых результатов исследования реальному визуальному восприятию, что критически важно при анализе метамерических эффектов в системах смешанной реальности [10].

Международный комитет CIE (фр. Commission Internationale de l'Eclairage) задает определение цветовой разницы через метрику ΔE. Расчеты произведены по формуле CIE76:

$$\Delta E_{ab}^{*} = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2}\,, \quad (1)$$

где, L^* (светлота) – определяет яркость цвета от 0 (абсолютно черный) до 100 (абсолютно белый). Это перцепционный эквивалент яркости, учитывающий особенности человеческого зрения;

a^* – представляет положение цвета на красно-зеленой оси;

b^* – представляет положение цвета на желто-синей оси.

Для оценки цветовых значений в пространстве CIELAB были выбраны идентичные области на серых образцах в обеих частях каждого изображения.

На рис. 1 изображена первая пара объектов в реальной и виртуальной среде, а в таблице 1 представлены L^*, a^* и b^* координаты первого и второго цвета.

Рис. 1. Пара № 1. Показатели экспозиции: 1/50 сек, f/2.8, ISO 1000. Баланс белого – 3200K. Угол падения света 45°, свет находится в правом верхнем углу сцены

ТАБЛИЦА 1. Пара №1. Значения L^*, a^* и b^* координат первого и второго цвета в цветовом пространстве CIELAB

Пара № 1	L^*	a^*	b^*
Реальный объект	87.3 (светлота)	+2.8 (красноватый оттенок)	+7.2 (желтоватый оттенок)
Виртуальный объект	90.6 (более светлый)	+0.3 (нейтральнее по красно-зеленой оси)	+1.5 (менее желтый)

На рис. 2 изображена вторая пара объектов в реальной и виртуальной среде, а в таблице 2 представлены L^*, a^* и b^* координаты первого и второго цвета.

Рис. 2. Пара № 2. Показатели экспозиции: 1/50 сек, f/2.8, ISO 1000. Баланс белого – 3200К. Угол падения света 45°, свет находится в правом нижнем углу сцены

ТАБЛИЦА 2. Пара №2. Значения L^*, a^* и b^* координат первого и второго цвета в цветовом пространстве CIELAB

Пара № 2	L^*	a^*	b^*
Реальный объект	85.9 (светлота)	+3.1 (красноватый оттенок)	+8.5 (желтоватый оттенок)
Виртуальный объект	89.8 (более светлый)	+0.2 (нейтральнее)	+1.8 (менее желтый)

На рис. 3 изображена третья пара объектов в реальной и виртуальной среде, а в таблице 3 представлены L^*, a^* и b^* координаты первого и второго цвета.

Рис. 3. Пара № 3. Показатели экспозиции: 1/50 сек, f/2.8, ISO 1600. Баланс белого – 3200К. Угол падения света 45°, свет находится в правом верхнем углу сцены

ТАБЛИЦА 3. Пара №3. Значения L^*, a^* и b^* координат первого и второго цвета в цветовом пространстве CIELAB

Пара № 3	L^*	a^*	b^*
Реальный объект	86.7 (светлота)	+2.4 (красноватый оттенок)	+6.3 (желтоватый оттенок)
Виртуальный объект	90.2 (более светлый)	+0.1 (практически нейтральный)	+1.2 (минимально желтый)

Расчет ΔE (CIE76) для трех пар проведен по формуле 1.

Для удобства анализа полученные результаты эксперимента представлены в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4. Сравнительная таблица полученных результатов эксперимента

Пара	Настройки камеры и расположение света	Значения метрики ΔE $(CIE76)$	Основное отличие между реальной и виртуальной средой	Метамерический эффект
№ 1	1/50 сек, f/2.8, ISO 1000. Баланс белого – 3200К. Угол падения света 45°, свет находится в правом верхнем углу сцены.	7.04	Значительное отличие в желтом канале (b*)	Выраженный метамерический эффект: объекты визуально близки при прямом наблюдении, но различаются при фиксации камерой, особенно в желтом спектре
№ 2	1/50 сек, f/2.8, ISO 1000. Баланс белого – 3200К. Угол падения света 45°, свет находится в правом нижнем углу сцены.	8.28	Максимальное отличие в желтом канале (b*)	Максимальное проявление метамеризма из всех пар, что указывает на зависимость цветового восприятия от угла освещения
№ 3	1/50 сек, f/2.8, ISO 1600. Баланс белого – 3200К. Угол падения света 45°, свет находится в правом верхнем углу сцены.	6.60	Умеренное отличие во всех каналах	Умеренный метамерический эффект: повышение светочувствительности камеры способствует более равномерному распределению различий по цветовым каналам

Выводы

1. Стабильность метамерического эффекта.

Все три пары демонстрируют значительные цветовые различия (ΔE > 5.0), что подтверждает наличие стабильного метамерического эффекта при интеграции виртуальных объектов в реальную среду.

2. Влияние настроек ISO.

При увеличении значения ISO с 1000 до 1600 наблюдается незначительное уменьшение цветового различия (с ΔE = 8.28 до ΔE = 6.60), что может указывать на частичную компенсацию метамерического эффекта при изменении условий экспозиции.

3. Спектральная характеристика различий.

Наибольшие различия во всех парах наблюдаются в желто-синей координате (b*), что может указывать на особенности метамерического эффекта, связанного с характеристиками источника света.

4. Вариативность результатов.

Наблюдаемая разница между парами 1 и 2 при идентичных настройках камеры (ΔE = 7.04 и ΔE = 8.28) указывает на присутствие дополнительных факторов, влияющих на метамерический эффект, таких как угол освещения.

5. Практическая значимость.

Величина цветовых различий существенно превышает порог визуального различия ($\Delta E > 2.0$), что подтверждает необходимость разработки специализированных алгоритмов адаптивной коррекции цветовых характеристик виртуальных объектов в системах смешанной реальности.

Документированные в ходе эксперимента закономерности позволили не только подтвердить наличие метамеризма как существенного фактора, влияющего на реалистичность смешанной реальности, но и прийти к выводу о необходимости дальнейшего анализа ключевых параметров, требующих динамической коррекции при разработке системы адаптивного освещения.

Дальнейшее развитие данного направления предполагает разработку адаптивных алгоритмов коррекции параметров виртуального освещения на основе анализа световых условий физической среды. Это позволит значительно повысить реалистичность интеграции виртуальных объектов в реальные сцены и минимизировать визуальные артефакты, связанные с метамерическими эффектами.

Список используемых источников

1. Fairchild M. D. Color Appearance Models. 3-е изд. Wiley-IS&T Series in Imaging Science and Technology. John Wiley & Sons, Ltd, 2013. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118653128 (дата обращения 09.03.2025).

2. Knill D. C., Maloney L. T. Perception of illumination inconsistencies in scenes with multiple light sources: Effects on material appearance and object detectability // Journal of Vision. 2010. Т. 10, № 7. С. 1-22. URL: https://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2137918 (дата обращения 13.03.2025).

3. Azuma R., Baillot Y., Behringer R., Feiner S., Julier S., MacIntyre B. Recent advances in augmented reality // IEEE Computer Graphics and Applications. 2001. Т. 21, № 6. С. 34-47. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/963459 (дата обращения 05.03.2025).

4. Debevec P. Rendering synthetic objects into real scenes: Bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography // ACM SIGGRAPH 2008 classes, Article 32. 2008. С. 1-10. URL: https://dl.acm.org/doi/10.1145/1401132.1401175 (дата обращения 05.03.2025).

5. CTA-2069-A. Definitions and Characteristics of Augmented and Virtual Reality Technologies. Consumer Technology Association, November 2020. URL: https://shop.cta.tech/products/cta-2069 (дата обращения 09.03.2025).

6. Reinhard E., Heidrich W., Debevec P., Pattanaik S., Ward G., Myszkowski K. High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting. 2-е изд. Morgan Kaufmann Publishers Inc, 2010. URL: https://www.perlego.com/book/1810128/high-dynamic-range-imaging-acquisition-display-and-imagebased-lighting-pdf (дата обращения 13.03.2025).

7. Whelan T., Leutenegger S., Salas-Moreno R. F., Glocker B., Davison A. J. ElasticFusion: Dense SLAM without a pose graph // Robotics: Science and Systems XI. 2015. URL: https://www.roboticsproceedings.org/rss11/p01.pdf (дата обращения 15.03.2025).

8. Kim K., Gu J., Tyree S., Molchanov P., Niessner M., Kautz J. A lightweight neural network for monocular depth estimation on CPU // International Conference on Computational Photography (ICCP). 2020. С. 1–10. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/9105241 (дата обращения 15.03.2025).

9. Pharr M., Jakob W., Humphreys G. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation. 3-е изд. Morgan Kaufmann Publishers Inc, 2016. URL: https://www.sciencedirect.com/book/9780128006450/physically-based-rendering (дата обращения 15.03.2025).

10. Hunt R. W. G., Pointer M. R. Measuring Colour. 4-е изд. John Wiley & Sons, Ltd, 2011. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119975595 (дата обращения 16.03.2025).

THE PROBLEM OF PERCEPTION OF METAMERIC PAIRS WHEN SUPERIMPOSING VIRTUAL OBJECTS ON REAL ONES: NEW APPROACHES TO IMPROVING VISUALIZATION QUALITY

Buchatsky A., Kuzmina D.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article examines the problem of metamerism in mixed reality systems when integrating virtual objects into real scenes. Metamerism, which manifests itself as a visual coincidence of objects with different spectral characteristics, poses a significant problem for creating realistic mixed reality systems. The paper analyzes the main factors influencing the occurrence of metameric pairs and examines existing approaches to solving this problem. The authors conducted an experiment that provided the necessary empirical basis for solving the problem of metamerism in mixed reality systems.

Key words: *metamerism, mixed reality, virtual lighting, adaptive lighting*

УДК 004.932.4
ГРНТИ 47.51.39

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЪЕКТИВНЫХ МЕТРИК ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВИДЕО ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ КОДЕКОВ

А. Н. Бучатский, А. П. Лосев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Объективные метрики оценки качества видео являются наиболее часто использующимся методом верификации уровня качества в различных задачах обработки видео, в том числе сжатии, предобработке при помощи фильтров, передаче по каналам связи. Однако с развитием алгоритмов кодирования метрики объективной оценки качества могут быть неправильно интерпретированы в результате взаимосвязи работы алгоритма метрики и алгоритма кодека. В работе рассматривается применимость 9 метрик объективной оценки качества для 16 видеопоследовательностей, сжатых при помощи кодека AV1.

объективные метрики оценки качества видео, сжатие с потерями, видеокодек, AV1, скорость цифрового потока

Алгоритмы сжатия видеоинформации являются ключевым элементом современных систем связи, благодаря своей главной цели – передаче видеоданных с наименьшей скоростью цифрового потока. Так как разрешение передаваемого видео увеличивается, видеофайлы и видеопотоки в разрешении 4K продолжают набирать популярность на платформах для распространения видео и в системах цифрового телевидения. Очевидно, что для обеспечения наилучшего пользовательского опыта необходимо эффективное использование канала связи, то есть передача наибольшего количества информации при минимальном трафике. Отношение размера видеофайла, сжатого при помощи определенного кодека, к размеру файла исходного видео называется степенью сжатия [1]. Степень сжатия рассчитывается по формуле 1:

$$C = \frac{R}{P} \tag{1}$$

где C – степень сжатия файла, P – размер сжатого файла, R – размер исходного файла.

Эффективность работы видеокодека оценивается в степени сжатии файла при сохранении зрительной схожести сжатого изображения с исходным и прямо пропорциональна степени сжатия. Например, стандарт кодирования H.265 может обеспечивать более высокую степень сжатия, чем ви-

деокодек H.264, являющийся предшествующим стандартом. Согласно сравнительному анализу видеокодеков H.264 и H.265, кодек нового поколения позволяет передавать видео идентичного визуального качества со скоростью цифрового потока, на 25.6 % – 44.5 % меньшей, чем у видеокодека предыдущего поколения [2]. Обозначенные остоинства в меньшей скорости цифрового потока файла позволяют экономить ресурсы передающей сети, а также экономить ресурсы постоянных запоминающих устройств для хранения видеофайлов.

Существуют два подхода к оценке качества визуального изображения: объективная и субъективная оценка. Субъективная оценка – метод верификации качества, при котором проводится анализ изображений группой экспертов, результаты оцениваются по градационной шкале. Объективная оценка отличается от субъективной использованием математических алгоритмов для анализа визуальной информации без участия человека. Однако с развитием алгоритмов кодирования метрики объективной оценки качества могут быть неправильно интерпретированы в результате взаимосвязи работы алгоритма метрики и алгоритма кодека. Некорректная интерпретация метрики может возникать при работе с метрикой Video Multimethod Assessment Fusion (VMAF) и предварительной обработкой изображений, при котором метрика показывает высокий численный показатель, указывающий на высокое качество, при том, что на основании субъективной оценки качество видеофайла ухудшилось [3, 4].

В ходе анализа исследований был выбран практический эксперимент с использованием сжатия видео при помощи кодека AV1, так как рассматриваемый кодек имеет несколько блоков предобработки видеоматериала, предназначенных для эффективного видоизменения материала. В работе рассматривается объективная оценка качества результатов работы кодека AV1 для тестового набора данных.

Для верификации результатов посредством расчета метрик объективной оценки качества использовался программный пакет VQMTK, являющийся комбинированным инструментом для расчета четырнадцати метрик оценки качества видео, а также пространственной и временной информации для видеофайлов [5]. В рамках исследования был проведен расчет девяти метрик объективной оценки качества (МОК): CEIDE2000, APSNR, PSNR, PSNR-HVS, SSIM, MS-SSIM, VIF, VMAF, STRRED. Выбор перечисленных метрик обоснован типом верификации: все метрики из списка являются референсными метриками.

Набором данных для экспериментов был выбран UVG Dataset, состоящий из 16 видеопоследовательностей в формате YUV без сжатия [6]. Все

файлы имеют формат YUV, контейнер Y4M, количество кадров в каждом образце – 600, разрешение видео – 3840 на 2610 пикселей, разрядность – 8 бит. Остальные характеристики данных в наборе представлены в таблице 1, частота кадров (Fr) представлена в кадрах в секунду, продолжительность (t) – в секундах, контраст (Ctr) и уровень движения (Mot) – относительными градациями, размер исходного файла (R) – в гигабайтах, обработанного файла (P) – в мегабайтах, степень сжатия файла – по формуле 1 (для расчетов исходный и сжатый файлы рассчитываются в байтах, результат округляется до десятичных значений). Сжатие видео осуществлялось программой FFmpeg при помощи встроенной библиотеки libaom-av1 с исходными параметрами, файлы сохранены в контейнере MKV [7].

ТАБЛИЦА 1. Параметры видеопоследовательностей в тестовом наборе данных

Имя файла	*Fr*	*t*	*Ctr*	*Mot*	*R*	*P*	*C*
Beauty	120	5	Высокий	Низкий	7	8	891,35
Bosphorus	120	5	Низкий	Низкий	7	8	899,51
CityAlley	50	12	Высокий	Низкий	7	0.989	7 374,73
FlowerFocus	50	12	Низкий	Низкий	7	1.7	4 374,46
FlowerKids	50	12	Высокий	Низкий	7	14	545,77
FlowerPan	50	12	Низкий	Низкий	7	2.3	3 199,50
HoneyBee	120	5	Низкий	Высокий	7	0.888	8 217,27
Jockey	120	5	Высокий	Высокий	7	7.4	964,05
Lips	120	5	Высокий	Низкий	7	1.9	3 819,82
RaceNight	50	12	Высокий	Высокий	7	17	421,53
ReadySetGo	120	5	Высокий	Высокий	7	19	388,37
RiverBank	50	12	Высокий	Низкий	7	30	242,99
ShakeNDry	120	2.5	Низкий	Низкий	3.5	9.9	360,22
SunBath	50	6	Высокий	Низкий	3.5	8.2	435,41
Twilight	50	12	Высокий	Низкий	7	2.5	2 898
YachtRide	120	5	Высокий	Высокий	7	36	203,07

Для демонстрации результатов эксперимента была произведена визуализация расчета метрики VMAF для всех файлов в наборе данных. Расчет производился с шагом вычисления метрики на 1 секунду, значение для каждой секунды записывалось как результат. Для графической демонстрации распределений был выбран вид графика «ящик с усами», с помощью которого можно продемонстрировать статистическое распределение полученных значений. Зеленые ромбы обозначают выбросы значений расчета метрики, синяя горизонтальная линия внутри прямоугольника – медианное значение; называемое вторым квантилем (Q_2); зеленая пунктирная горизонтальная линия – среднее значение M, рассчитываемое по формуле 2:

$$M = \frac{l_1 + l_2}{2} \tag{2}$$

где l_1 и l_2 – минимальное и максимальное значение в рассматриваемой выборке.

Синий прямоугольник – диапазон от первого до третьего квантиля данных ($Q_3 - Q_1$). Расчет значений квантилей Q_1, Q_2 и Q_3 для данных о рассчитанных метрик происходит по формуле 3:

$$Q_n = l_1 + \left(i \times \frac{n}{4} - c_f \right) \times \frac{(l_2 - l_1)}{f} \tag{3}$$

где n – номер квантиля, f – частота появления значений в выборке, c_f – накопленная частота включений в класс, предшествовавший классу квантиля. Результаты расчетов метрики для тестовых файлов представлены на рисунке 1.

Расчеты метрики VMAF, показанные на рисунке 1, демонстрируют очень широкий разброс результатов метрики для набора данных, сжатых с помощью кодека AV1. Метрика VMAF имеет диапазон результатов от 0 до 100, и для набора данных значения метрики варьируются от 60 до 99.8, в то время как остальные метрики не имеют столь широкого разброса среди анализируемого набора видеофрагментов. Результаты работы метрик при тестировании одного из файлов с шагом расчета для одной секунды показаны в таблице 2. Тестовый файл имеет продолжительность 12 секунд с частотой кадров 50 кадров в секунду.

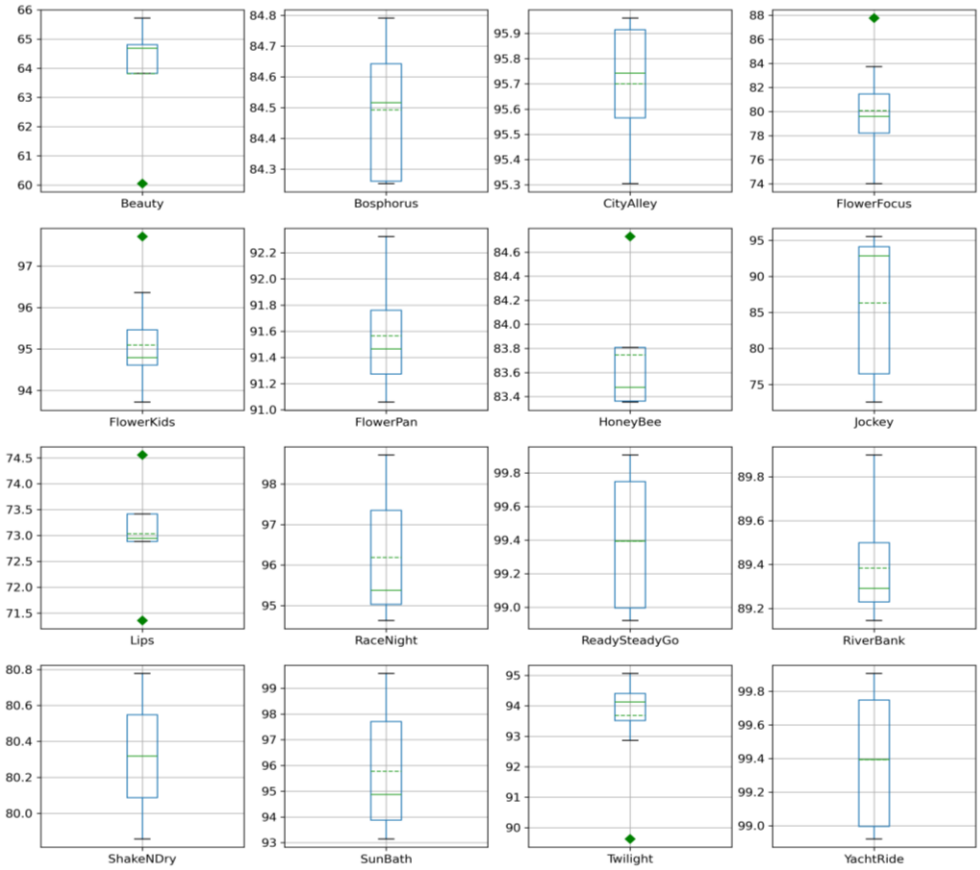


Рис. 1. Распределение значений метрики VMAF для видеопоследовательностей

ТАБЛИЦА 2. Расчет девяти МОК для видеофайла CityAlley

Секунда	CEIDE 2000	APSNR	PSNR	PSNR -HVS	SSIM	MS-SSIM	VIF	VMAF	STR RED
1	41.854	42.862	42.86	40.16	0.958	0.992	0.995	95.709	4.73
2	41.748	42.761	42.76	39.98	0.958	0.991	0.994	95.957	2.86
3	41.69	42.713	42.71	39.86	0.957	0.991	0.994	95.928	3.05
4	41.649	42.699	42.7	39.78	0.957	0.991	0.994	95.96	3.04
5	41.6	42.655	42.66	39.67	0.957	0.991	0.994	95.85	2.98
6	41.576	42.641	42.64	39.6	0.957	0.991	0.994	95.91	2.84
7	41.518	42.61	42.61	39.52	0.957	0.991	0.994	95.775	2.92
8	41.507	42.616	42.62	39.5	0.957	0.991	0.994	95.648	3.3
9	41.499	42.631	42.63	39.46	0.957	0.991	0.993	95.622	3.55
10	41.499	42.616	42.62	39.43	0.957	0.991	0.993	95.346	3.76
11	41.502	42.616	42.62	39.41	0.957	0.991	0.993	95.394	4.15
12	41.51	42.609	42.61	39.38	0.957	0.991	0.993	95.305	4.92

В ходе работы с видеофрагментами из набора данных UVG была продемонстрирована неоднородность работы метрики VMAF на различных видеофрагментах, что выявляет высокую степень зависимости метрики от сжимаемого содержимого видеофайла: при неизменных параметрах сжатия метрика демонстрирует различные значения на разных видеофайлах в зависимости от сюжета видеофайла. Проведенный эксперимент подтверждает гипотезу о том, что различные метрики объективной оценки качества могут иметь разные интерпретации в зависимости от тестируемых сюжетов видеофрагментов, и для отдельных метрик отклонения в численной оценке могут иметь достаточно большой разброс. Полученный факт следует принимать во внимание при оценке наборов данных при помощи метрик объективной оценки качества.

Список используемых источников

1. Ibraheem M., Dvorkovich A., Al-Khafaji I. A Comprehensive Literature Review on Image and Video Compression: Trends, Algorithms, and Techniques // Ingénierie Systèmes Inf. 2024. Т. 29. С. 863–876.

2. A. Mazhar A. Performance Evaluation of h.265/mpeg-hevc, vp9 and h.264/mpeg-avc Video Coding // Int. J. Multimed. Its Appl. 2016. Т. 8. № 1. С. 35–44.

3. Siniukov M. и др. Hacking VMAF and VMAF NEG: vulnerability to different preprocessing methods // 2021.

4. Лосев А. П. Особенности объективной оценки качества работы современных контентно-ориентированных систем сжатия видеоданных / А. П. Лосев, Е. С. Козырева, А. Н. Бучатский // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения, 2024. № 1. С. 148–153.

5. Moina-Rivera W., Gutiérrez-Aguado J., Garcia-Pineda M. Video quality metrics toolkit: An open-source software to assess video quality // SoftwareX. 2023. Т. 23. С. 101427.

6. Mercat A., Viitanen M., Vanne J. UVG dataset: 50/120fps 4K sequences for video codec analysis and development // Proceedings of the 11th ACM Multimedia Systems Conference. Istanbul Turkey: ACM, 2020. С. 297–302.

7. Документация энкодера libaom-av1 для FFmpeg. URL: https://ffmpeg.org/ffmpeg-codecs.html#libaom_002dav1 (дата обращения 14.01.2025).

THE SPECIFICITIES OF USAGE OF OBJECTIVE VIDEO QUALITY METRICS FOR MODERN CODECS

Buchatskiy A., Losev A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Objective video quality metrics are the most frequently used method for quality verification in different video processing tasks, including compression, preprocessing via filters, and the transmissions via communication lines. However, considering the changes of scenarios of metrics evaluation on modern video codecs, the results of algorithms may be interpreted incorrectly, depending on the interconnected execution of metric algorithm and codec algorithm. This work considers the usability of 9 objective video quality metrics for 16 video sequences that were compressed with the usage of AV1 video codec.

Key words: *objective video quality metrics, lossy compression, video codec, AV1, bitrate*

УДК 535.14
ГРНТИ 29.05.15

КВАНТОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ ДЛЯ СИСТЕМ КРК

М. С. Былина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Генератор случайных чисел является необходимым компонентом системы квантового распределения ключей. Функцией генерации случайных чисел обладают все современные компьютеры, но они используют детерминированные алгоритмы, позволяющие получать только псевдослучайные последовательности. Истинную случайность необходимо извлекать из квантовых процессов. В работе рассмотрены принципы работы квантовых ГСЧ, использующих для извлечения случайности квантовую суперпозицию, квантовую запутанность, флуктуации вакуума и различные виды шумов.

квантовые технологии, квантовые коммуникации, квантовый генератор случайных чисел, квантовая суперпозиция, квантовая запутанность, нулевые флуктуации вакуума, квантовый шум, шумы лазеров, шумы усилителей

1. Задача генерации случайных чисел

Важнейшим компонентом системы квантового распределения ключей (КРК) является генератор случайных чисел (ГСЧ) [1, 2]. Истинно случайные числа должны порождаться процессом, исход которого непредсказуем и не может быть надежно воспроизведен впоследствии.

Современные компьютеры являются детерминированными системами. Алгоритмы генерации представляют собой математические формулы, с помощью которых из начального числа (зерна) создаются длинные последовательности псевдослучайных (кажущихся случайными) чисел [2]. Зная зерно, можно предсказать всю последовательность, поэтому такие алгоритмы не подходят для систем КРК.

Решением являются квантовые ГСЧ (КГСЧ), в которых используются квантовые физические процессы, так как их природа является вероятностной, то есть принципиально недетерминированной. Оптические КГСЧ могут использовать как детекторы одиночных фотонов, так и классические детекторы.

2. КГСЧ с детекторами одиночных фотонов

На рис. 1. представлен КГСЧ, в котором источником случайности является квантовая суперпозиция [3]. Фотон в состоянии $|0\rangle$, соответствующем движению вдоль оси X, после прохождения светоделительного куба

оказывается в суперпозиции равновероятных состояний $|0\rangle$ и $|1\rangle$, то есть будет зарегистрирован одним из двух детекторов с одинаковой вероятностью. Срабатыванию детектора 1 соответствует логический 0, а детектора 2 – логическая 1. из одного фотона может быть излечено не более одного случайного бита, скорость генерации ограничена «мертвым временем» детектора.

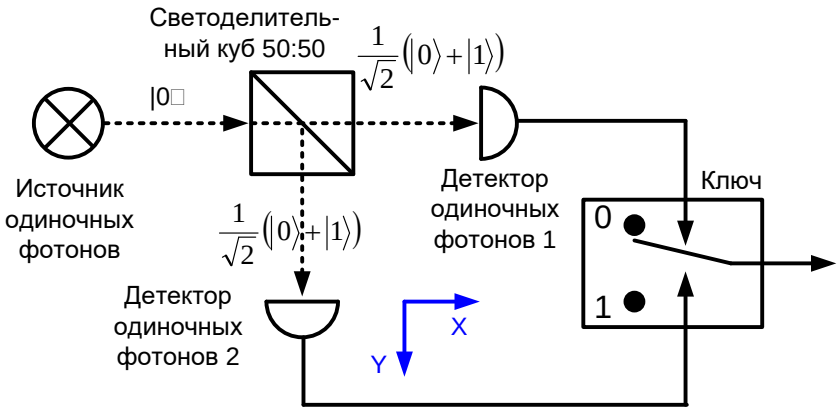


Рис. 1. КГСЧ, основанный на явлении квантовой суперпозиции

На рис. 2 представлен КГСЧ, основанный на измерении пары поляризационно-запутанных фотонов, получаемых в результате спонтанного параметрического рассеяния в квадратично-нелинейном кристалле [3, 4]. Каждый фотон пары через поляризационный светоделитель направляется на два детектора одиночных фотонов, один из которых регистрирует фотоны с горизонтальной H, а второй – с вертикальной V поляризацией. В такой схеме могут одновременно сработать детекторы Д1 и Д4 или Д2 и Д3. В первом случае в последовательность случайных бит будет записан 0, во втором – 1.

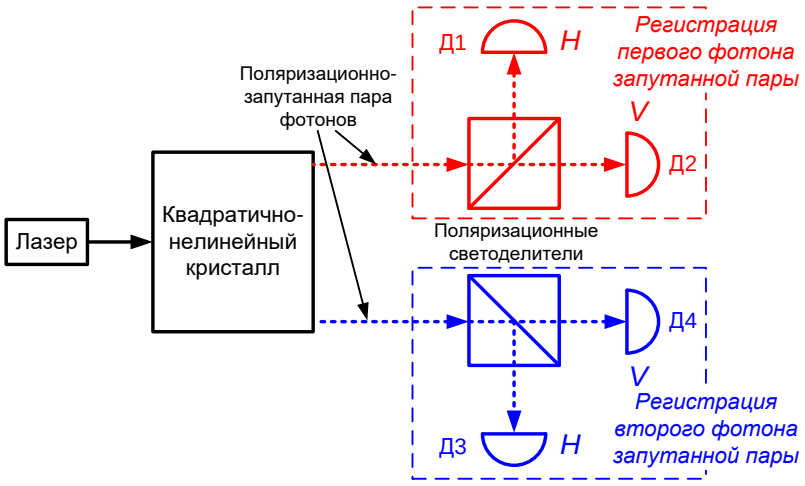
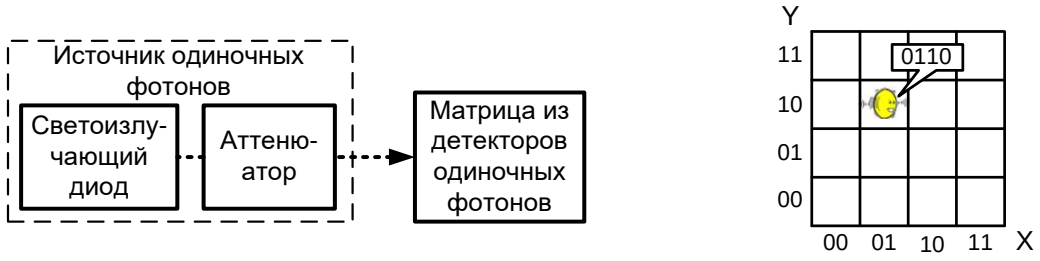


Рис. 2. КГСЧ, основанный на явлении квантовой запутанности

Достоинством таких КГСЧ является гарантия квантовой природы случайного процесса, так как при ложных срабатываниях детекторов в итоговую последовательность случайных чисел биты не записываются.

На рис. 3а представлен КГСЧ, работа которого основана на измерении пространственного распределения фотонов [3, 5]. Для регистрации используется матрица независимых друг от друга детекторов одиночных фотонов (пикселей). Принцип интерпретации результата измерения на примере матрицы 4х4 пикселя поясняет рис. 3б.



а б

Рис. 3. КГСЧ, основанный на измерении пространственного распределения фотонов: а – схема, б – интерпретация измерения

Достоинствами данного метода генерации случайных чисел являются возможность кодировать несколькими битами результат одного измерения, а также снижение влияния «мертвого времени» детекторов, так как во время восстановления сработавшего детектора остальные остаются в состоянии готовности.

3. КГСЧ с классическими детекторами

В КГСЧ с классическими детекторами измеряемыми являются классические величины (интенсивность, амплитуда или фаза оптического излучения), однако источником случайности остаются квантовые процессы. Отказ от однофотонных детекторов позволяет повысить скорость генерации случайных чисел, так как классический детектор не имеет «мертвого времени».

На рис. 4 представлен КГСЧ, основанный на измерении флуктуаций вакуума [3, 6]. КГСЧ содержит светоделитель, объединяющий сигналы с двух входов, на один из которых подается мощный лазерный импульс с напряженностью электрического поля $E_L(t)$, а на второй – вакуумное состояние $E_V(t)$.

Вакуумным называют состояние Фока $|0\rangle$ с числом фотонов, равным нулю, способное порождать случайные флуктуации квантовых квадратурных компонент поля.

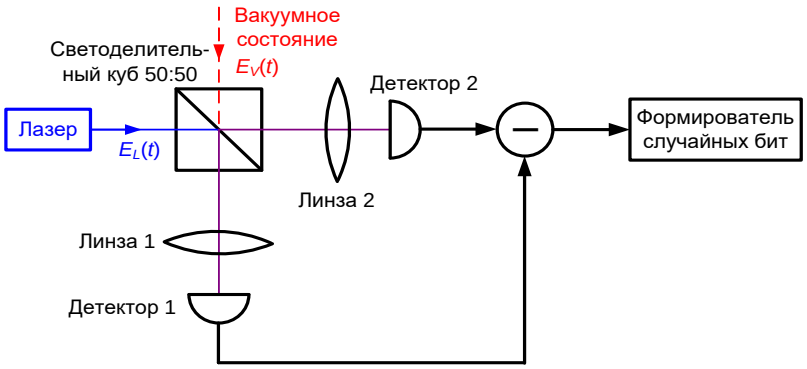


Рис. 4. КГСЧ на основе измерений случайных флуктуаций вакуума

Объединенный сигнал поступает на гомодинный балансный приемник, содержащий два детектора. Напряжение на выходе балансного приемника ΔU имеет вид:

$$\Delta U = 4S \cdot E_{Lm} E_{Vm}(t) \sin\left[\varphi_L(t) - \varphi_V(t)\right],$$

где E_{Vm}, E_{Lm} – амплитуды, а φ_V, φ_L – фазы $E_V(t)$·и $E_L(t)$·соответственно. Случайные изменения амплитуды E_{Vm} и фазы φ_V, вызванные квантовыми флуктуациями, приводят к случайным изменениям ΔU, которые можно преобразовать в случайные числа. Поскольку квадратурные компоненты являются непрерывными переменными, возможно получение более одного случайного бита за одно измерение.

В качестве источника случайности могут использоваться шумы лазеров и усилителей. На рис. 5 представлен КГСЧ, измеряющий фазовый шум лазера [3, 7].

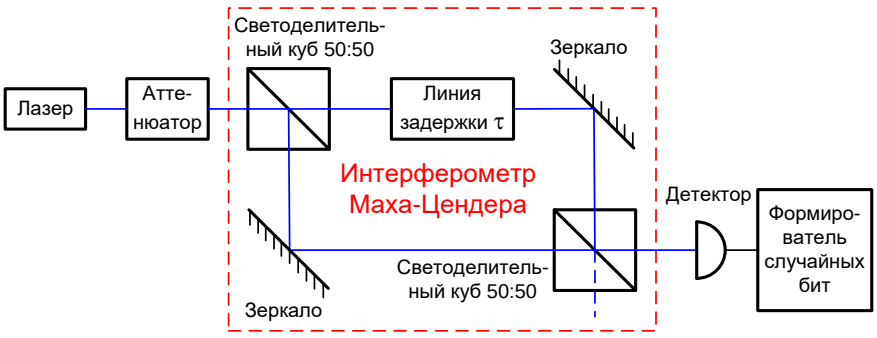


Рис. 5. КГСЧ, основанный на измерении фазовых шумов лазера

Для проведения измерения используется несбалансированный интерферометр Маха-Цендера (ИМЦ). Разбалансировка ИМЦ осуществляется с помощью создания задержки τ в одном из двух плечей. Выходное напряжение будет пропорционально cos(Δφ(t)), где Δφ(t) = φ(t) – φ(t + τ) – случайно меняющаяся разность фаз. Если внесенная задержка τ больше времени ко-

герентности τ_c лазера, $\Delta\varphi(t)$ будет иметь нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием. Измерять амплитуду сигнала на детекторе нужно с интервалом времени $T >> \tau + \tau_c$, чтобы результаты измерений были независимы друг от друга.

Для уменьшения влияния шумов детектора, необходимо чтобы квантовый фазовый шум был доминирующим источником случайности. Поскольку он обратно пропорционален выходной мощности лазера, излучение лазера подавляется с помощью аттенюатора до интенсивности, близкой к порогу генерации.

На рис. 6 представлен КГСЧ, измеряющий шумы усиленного спонтанного излучения (Amplified Spontaneous Emission, ASE) оптического усилителя. Перестраиваемый оптический фильтр позволяет выбрать полосу частот, в которой будет произведено измерение.

Регистрация ASE осуществляется с помощью детектора на основе фотодиода с квадратичной характеристикой. Напряжение на выходе детектора в основном определяется биениями между компонентами ASE. Из одного измерения можно извлечь строку из нескольких случайных бит.

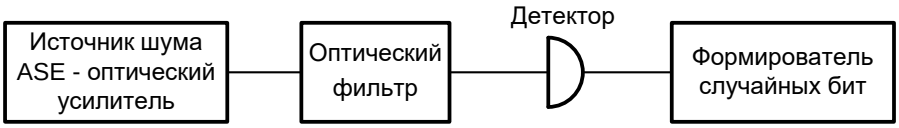


Рис. 6. КГСЧ, основанный на измерении ASE оптического усилителя

Отсчеты случайных амплитуд ASE представляют собой статистически независимые случайные величины, даже при большой частоте измерений. Поэтому скорость генерации случайных чисел в таких КГСЧ ограничивается максимальной частотой работы детектора.

4. Проверка правильности работы КГСЧ

После генерации случайной последовательности необходимо провести проверку ее качества, чтобы убедиться, что КГСЧ работает правильно. К сожалению, не существует способа достоверно определить, является ли последовательность истинно случайной, однако есть методы для обнаружения подозрительных последовательностей. Например, если КГСЧ последовательно выдает больше единиц, чем нулей, есть основания подозревать, что он действует неслучайно.

Показателями качества последовательности являются, например, одинаковая частота появления 1 и 0, не слишком быстрое и не слишком медленное переключение с 1 на 0 и обратно, отсутствие периодически повторяющихся фрагментов, отсутствие корреляции последовательности со своими смещенными копиями.

5. Заключение

Квантовая генерация случайных чисел является одной из наиболее зрелых квантовых технологий. Рассмотренные способы генерации уже находят практическое применение в реальных устройствах. Однако по скорости формирования случайных последовательностей КГСЧ пока уступают генераторам псевдослучайных чисел, которые, по сути, работают со скоростью процессора. Кроме того, многие из рассмотренных КГСЧ не обеспечивают равной вероятности появления 1 и 0, что недопустимо для систем КРК. Нарушить правильную работу КГСЧ может деградация компонентов КГСЧ или прямая атака Евы. Для решения этих ведутся активные исследования и разрабатываются новые устройства.

Список используемых источников

1. Килин С. Я., Хорошко Д. Б., Низовцев А. П. Квантовая криптография: идеи и практика. Минск: Белорусская наука, 2007. 392 с.

2. Гайдаш А. А., Егоров В. И., Иванова А. Е., Козубов А. В., Кынев С. М., Наседкин Б. А., Самсонов Э. О. Квантовые технологии. СПб.: Университет ИТМО, 2023. 136 с.

3. Herrero-Collantes M., Garsia-Escartin J. C. Quantum Random Number Generators / Reviews of Modern Physics, 2017. Vol. 89, Iss. 1. P. 015004.

4. Leone N., Azzini S., Mazzucchi S., Moretti V., Pavesi L. Certified quantum random number generator based on single-photon entanglement / Physical Review Applied, 2021. Vol. 17, № 3. P. 034011.

5. Yan Q., Zhao B., Liao Q., Zhou N. Multi-bit quantum random number generation by measuring positions of ar-rival photons / Q. Yan // Review of Scientific Instruments, 2014. Vol. 85, № 10. P. 103116.

6. Shi Y., Chng B., Kurtsiefer C. Random numbers from vacuum fluctuations / Applied Physics Letters, 2016. Vol. 109, Iss. 4. P. 041101.

7. Guo H., Tang W., Liu Y., Wei W. Truly Random Number Generation Based on Measurement of Phase Noise of Laser / Physical Review E, 2010. Vol. 81, Iss. 5. P. 051137.

QUANTUM RANDOM NUMBER GENERATORS FOR QKD SYSTEMS

Bylina M.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

A random number generator (RNG) is a necessary component of a quantum key distribution system (QKD). All modern computers have the function of generating random numbers, but they use deterministic algorithms that allow obtaining only pseudo-random sequences. True randomness must be extracted from quantum processes. The paper considers the principles of operation of quantum RNGs that use quantum superposition, quantum entanglement, vacuum fluctuations, and various types of noise to extract randomness.

Key words: *Quantum technologies, quantum communications, quantum random number generator, quantum superposition, quantum entanglement, zero-point vacuum fluctuations, quantum noise, laser noise, amplifier noise.*

УДК 535.14
ГРНТИ 29.05.15

ПРОТОКОЛЫ КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧА, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ СЛАБЫЕ КОГЕРЕНТНЫЕ СОСТОЯНИЯ СВЕТА

М. С. Былина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Системы квантового распределения ключей, в которых биты ключа передаются одиночными фотонами, теоретически обладают абсолютной стойкостью к вторжению злоумышленника. В действительности возможны атаки на несовершенство технической реализации компонентов системы. Для обеспечения стойкости реальных систем разрабатываются протоколы КРК, учитывающие недостатки компонентов. В работе представлен обзор протоколов КРК, обеспечивающих секретность при использовании когерентных состояний света, ослабленных до квазиоднофотонного состояния, вместо одиночных фотонов.

квантовые технологии, квантовые коммуникации, квантовое распределение ключей, квантовая запутанность, протокол COW, протокол MDI-QKD, протокол Twin-Field

В системах квантового распределения ключей (КРК) биты секретного ключа кодируются квантовыми состояниями фотонов, а секретность ключа гарантируется фундаментальными законами квантовой физики [1, 2]. Наиболее известным протоколом КРК с доказанной секретностью является BB84, предложенный в 1984 году Ч. Беннеттом и Ж. Брассаром [3].

Схема КРК по протоколу BB84 (рис. 1) содержит передатчик (Алиса), приемник (Боб), квантовый канал, классический канал и канал синхронизации (не показан). Для кодирования Алиса использует поляризаторы, случайным образом выбирая для каждого бита ключа одно из 4 попарно ортогональных состояний линейной поляризации фотонов. Два состояния 0° и 135° используются для логического нуля, два других 90° и 45° – для кодирования логической единицы. Вместо поляризационных можно использовать фазовые состояния фотонов [1, 2]. Сформированную последовательность фотонов Алиса передает Бобу по квантовому каналу.

У Боба имеются поляризационные делители, которые позволяют отличить горизонтальную поляризацию от вертикальной (базис Rect), а также диагональную 45° от антидиагональной 135° (базис Diag). Боб не знает, ка-

кой из двух базисов использовала Алиса для каждого фотона, поэтому, проводя измерения, он выбирает базис случайным образом.

Накопив достаточное количество битов (сырой ключ), Алиса и Боб связываются по классическому каналу связи и обрабатывают информацию.

Первым этапом обработки является просеивание ключа. Для этого Боб сообщает Алисе, какие биты он принял, и в каком базисе проводил измерения. Значения бит при этом не раскрываются. Потерянные и принятые в неправильном базисе биты отбрасываются.

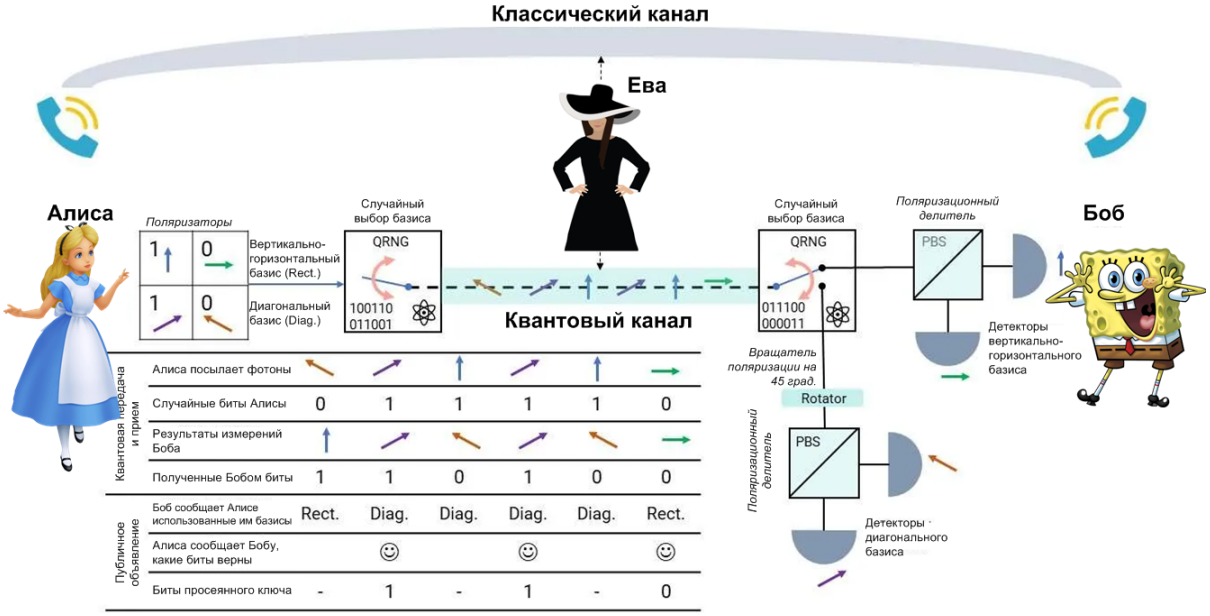


Рис. 1. Протокол BB84

На втором этапе обработки Алиса и Боб оценивают процент ошибок в просеянном ключе, сравнивая значения n битов просеянного ключа. Выявленные ошибки считаются результатом подслушивания Евы. Если их оказалось более 11 %, ключ скомпрометирован.

Система КРК, работающая по протоколу BB84, гарантирует обнаружение Евы при условии «правильной» технической реализации. Однако в существующих системах КРК:

1. В качестве однофотонного источника используется лазер, излучение которого ослабляется аттенюатором до квазиоднофотонного состояния, то есть вместо одиночных фотонов генерируются слабые когерентные состояния [4]. При этом обеспечивается очень малая, но ненулевая вероятность генерации многофотонного состояния, что открывает возможность для Евы применить атаку с разделением числа фотонов [1, 2].

2. В качестве однофотонного детектора используется лавинный фотодиод (ЛФД), работающий в режиме счетчика Гейгера. В [5] описана атака с ослеплением ЛФД, в результате чего он переходит из режима Гейгера в линейный режим, и у Евы появляется возможность навязать свой ключ.

Рассмотрим протоколы, позволяющие обеспечить секретность при наличии данных несовершенств технической реализации системы КРК.

Протокол Coherent One-Way (COW) когерентного одностороннего шифрования был предложен для увеличения скорости формирования ключа за счет максимального упрощения процесса измерения (рис. 2) [6].

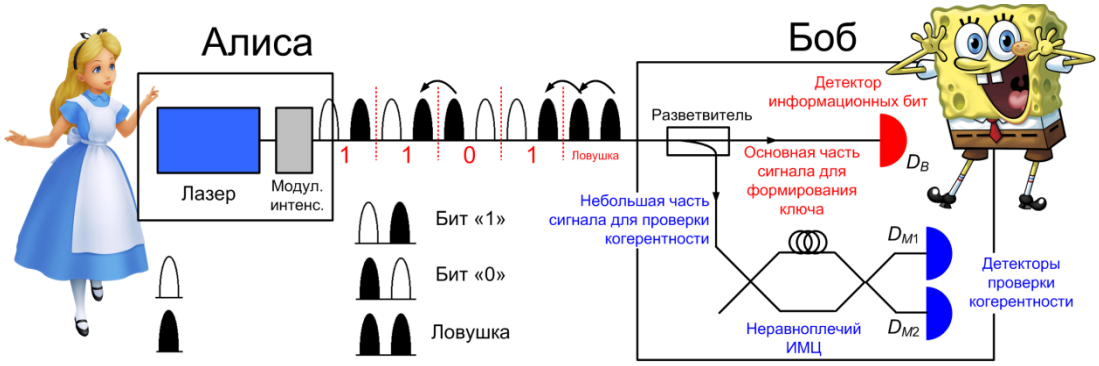


Рис. 2. Протокол COW

Передатчик Алисы состоит из лазера и модулятора интенсивности. Протокол основан на временном кодировании сигналов. Информационный бит кодируется парой импульсов, следующих друг за другом в одном временном слоте, один из которых представляет собой когерентное состояние со средним числом фотонов $\mu << 1$, а второй – вакуумное с нулевым числом фотонов. Для передачи логической единицы первым формируется пустой, а вторым – непустой импульс, содержащий фотоны, а для передачи логического нуля первым формируется непустой импульс. Поскольку $\mu << 1$ появление или отсутствие фотонов во временных слотах является вероятностным процессом. Такая неопределенность является важным фактором, обеспечивающим безопасность протокола.

Для повышения секретности используется метод Decoy State, то есть некоторая доля передаваемых Алисой состояний являются обманными. Обманное состояние кодируется парой импульсов в одном временном слоте, каждый из которых представляет собой когерентное состояние со средним числом фотонов μ.

На входе приемника Боба установлен разветвитель, который направляет основную часть излучения на детектор информационных бит D_B

и ответвляет небольшую часть в схему проверки когерентности, с помощью которой обнаруживается присутствие Евы.

Протокол COW устойчив к атаке с разделением числа фотонов, но не может противостоять атаке с ослеплением детекторов. В [5] показано, что для защиты детекторов их необходимо вынести в недоверенный узел.

На рис. 3 показана схема системы КРК, использующей детектор-независимый протокол MDI-QKD (Measurement-Device-Independent Quantum Key Distribution), предполагающий проведение измерений в недоверенном узле Чарли [7].

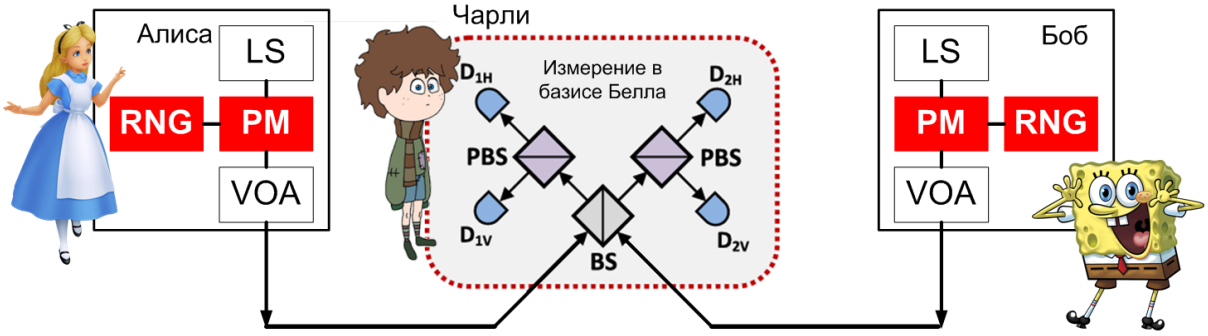


Рис. 3. Протокол MDI-QKD

В данной схеме Алиса и Боб независимо друг от друга генерируют фотоны с помощью лазерных источников LS, излучение которых ослабляется аттенюаторами VOA. Биты ключа они кодируют поляризацией фотонов, используя поляризационные модуляторы PM и случайным образом выбирая базис Rect или Diag. Сгенерированные фотоны по квантовым каналам направляются к Чарли. Чарли проводит измерение двухфотонного состояния в базисе Белла и по классическому каналу объявляет, какое из 4-х состояний Белла $|\beta_i\rangle$ он получил:

$$|\beta_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|HV\rangle - |VH\rangle),\ |\beta_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|HV\rangle + |VH\rangle),$$
$$|\beta_3\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|HH\rangle - |VV\rangle),\ |\beta_4\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|HH\rangle + |VV\rangle), \quad (1)$$

На рис. 3 представлена упрощенная схема измерения, позволяющая различить две группы состояний Белла – $|\beta_1\rangle$, $|\beta_2\rangle$ и $|\beta_3\rangle$, $|\beta_4\rangle$ (BS – полупрозрачное зеркало, PBS – поляризационные светоделители, D_{1H}, D_{2H}, D_{1V}, D_{2V} – детекторы одиночных фотонов).

Если Чарли объявляет результат $|\beta 3\rangle$ или $|\beta 4\rangle$, то при одинаковых базисах биты Алисы и Боба совпадают. Если Чарли объявляет результат $|\beta 1\rangle$ или

$|\beta_2\rangle$, то в трех случаях из четырех биты Алисы и Боба различны и один из них должен инвертировать свой бит (табл. 1).

Хотя Чарли проводит измерения, он не имеет доступа к секретному ключу. Ему известно одинаковы или различны биты Алисы и Боба, но он не может определить абсолютные значения передаваемых бит.

ТАБЛИЦА 1. Необходимость инверсии битов в протоколе MDI-QKD

Состояния, которые объявил Чарли / Базисы, выбранные Алисой и Бобом	$\|\beta_1\rangle$	$\|\beta_2\rangle$	$\|\beta_3\rangle$	$\|\beta_4\rangle$
Вертикально-горизонтальный	да	да	нет	нет
Диагональный	да	нет	нет	нет

Протокол MDI-QKD можно адаптировать для применения метода Decoy State, позволяющего бороться с атакой разделения числа фотонов. Для этого у Алисы и Боба должны быть дополнительно установлены модуляторы интенсивности.

Похожая схема КРК используется в протоколе полей-близнецов Twin-Field (рис. 4) [8]. В Twin-Field используются два базиса: базис Z – фазы $\psi_{Z0} = 0$ и $\psi_{Z1} = \pi$ и базис Y – фазы $\psi_{Y0} = 3\pi / 2$ и $\psi_{Y1} = \pi / 2$. Для передачи 0 используются фазы ψ_{Z0} и ψ_{Y0}, для передачи 1 – ψ_{Z1} и ψ_{Y1}.

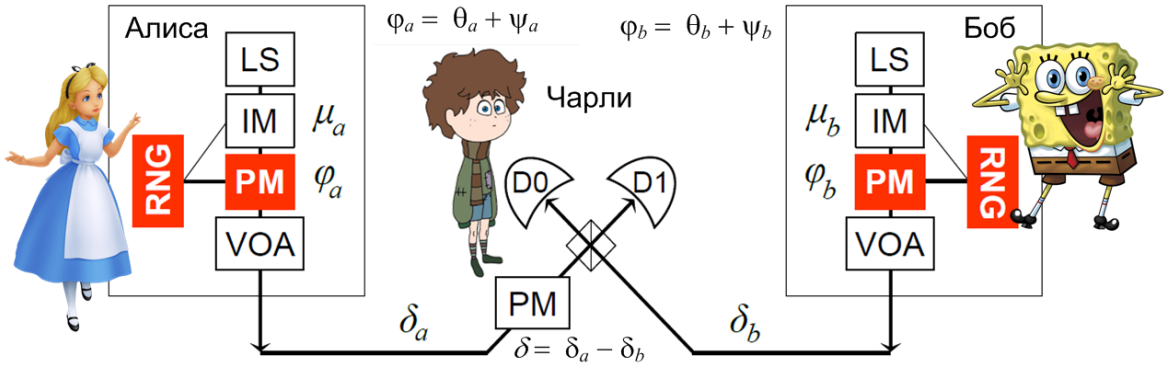


Рис. 4. Схема КРК с использованием протокола Twin-Field:
LS – лазер (Laser Source), IM – модулятор интенсивности (Intensity Modulator), RNG – генератор случайных чисел (Random Number Generator), PM – фазовый модулятор (Phase Modulator), VOA – аттенюатор с переменным затуханием (Variable Optical Attenuator), D0 и D1 – детекторы одиночных фотонов

Алиса и Боб случайным образом выбирают бит b_a и b_b, базис, в котором этот бит будет передаваться, интенсивность генерируемого состояния μ_a и μ_b, а также определяют фазы φ_a и φ_b:

$$\phi_a = \psi_a + \theta_a, \phi_b = \psi_b + \theta_b, \quad (2)$$

где ψ_a и ψ_b – фазы из наборов (ψ_{Z0}, ψ_{Z1}) или (ψ_{Y0}, ψ_{Y1}) соответствующие выбору бита и базиса, θ_a и θ_b – случайные фазы с равномерным распределением в интервале от 0 до 2π, генерируемые автоматически. Секретный ключ будет формироваться из тех состояний, которые являются полями-близнецами, то есть сформированы в одном и том же базисе, а их случайные фазы θ_a и θ_b отличаются не более, чем на $2\pi/M$, где M – целое число.

В узле Чарли состояния Алисы и Боба попадают на светоделитель. Если они являются полями-близнецами, то у Чарли наблюдается интерференция, в результате которой срабатывает только один из двух детекторов – D0 при совпадении битов $b_a = b_b$ и D1 – при несовпадении $b_a \neq b_b$. Если состояния Алисы и Боба не являются полями-близнецами, в зависимости от соотношения их параметров может сработать любой из детекторов или оба одновременно. Результат измерения Чарли объявляет по классическому каналу. Как и в MDI-QKD, Чарли не имеет доступа к секретному ключу.

Протокол Twin-Field позволяет в два раза увеличить расстояние между Алисой и Бобом по сравнению со схемами, где измерение проводится в доверенном узле (у Боба). В 2023 году было экспериментально продемонстрировано успешное распределение ключа с использованием протокола Twin-Field на расстояние 505 км со скоростью 338 бит/с и на расстояние 1003 км со скоростью 0.0011бит/с [9].

Список используемых источников

1. Килин С. Я., Хорошко Д. Б., Низовцев А. П. Квантовая криптография: идеи и практика. Минск: Белорусская наука, 2007. 392 с.

2. Гайдаш А. А., Егоров В. И., Иванова А. Е., Козубов А. В., Кынев С. М., Наседкин Б. А., Самсонов Э. О. Квантовые технологии. СПб.: Университет ИТМО, 2023. 136 с.

3. Bennett C. H., Brassard G. Quantum Cryptography: Public Key Distribution and Coin Tossing / Proc.of IEEE Int. Conf. on Comput. Sys. and Sign. Proces., Bangalore, India. 1984. P. 175–179.

4. Eisaman M. D., Fan J., Migdall A., Polyakov S. V. Invited Review Article: Single-photon sources and detectors / Review of Scientific Instruments, 2011. № 82. P. 071101.

5. Lydersen L., Wiechers C., Wittmann C., Elser D., Skaar J., Makarov V. Hacking commercial quantum cryptography systems by tailored bright illumination / Nature Photonics, 2010. Vol. 4. Iss. 10. P. 686-689.

6. Stucki D., Brunner N., Gisin N., Scarani V., Zbinden H. Fast and simple one-way quantum key distribution / Applied Physics Letters, 2005. Vol. 87. № 19. P. 194108.

7. Lo H.-K., Curty M., Qi B. Measurement-Device-Independent Quantum Key Distribution / Physical Review Letters, 2012. Vol. 108, No. 13. P. 130503.

8. Lucamarini M., Yuan Z. L., Dynes J. F., Shields A. J. Overcoming the rate–distance limit of quantum key distribution without quantum repeaters / Nature, 2018. 557 (7705). P. 400-403.

9. Liu Y., Zhang W.-J., Jiang C., Chen J.-P., Ma D., Zhang C. 1002 km Twin-Field Quantum Key Distribution with Finite-Key Analysis / Quantum Front, 2023. Vol. 2. Iss. 16.

QUANTUM DISTRIBUTION PROTOCOLS USING WEAK COHERENT STATES OF LIGHT

Bylina M.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Quantum key distribution systems, in which key bits are transmitted by single photons, are theoretically completely resistant to intrusion by an intruder. In reality, attacks on imperfect technical implementations of system components are possible. To ensure the resistance of real systems, QKD protocols are developed that take into account the shortcomings of the components. This paper presents an overview of QKD protocols that ensure secrecy using coherent states of light weakened to a quasi-single-photon state instead of single photons.

Key words: *Quantum technologies, quantum communications, quantum key distribution, quantum entanglement, COW protocol, MDI-QKD protocol, Twin-Field protocol*

УДК 004.725.5
ГРНТИ 49.43.29

ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ ТАКТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В СЕТЯХ IEEE 802.11

А. С. Викулов, С. А. Скоробогатова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

С развитием цифровых сервисов, особенно с появлением более сложных приложений, потребность в сетях с низкой задержкой значительно возросла. По мере увеличения спроса на такие приложения механизмы тактовой синхронизации (CS) становятся необходимыми для координации устройств в сети. Их эффективность в снижении задержки напрямую влияет на общее качество обслуживания, минимизируя задержки при взаимодействии. Для соответствия этим требованиям как недавно представленные, так и ожидаемые дополнения в будущем стандарте IEEE 802.11bn делают шаг вперед, заимствуя подходы, характерные для сотовых сетей. Одним из таких подходов является требование тактовой синхронизации между каналами. В данной статье обсуждаются механизмы CS в современных и будущих сетях IEEE 802.11 и проводится обзор возможных подходов, применимых для этой задачи.

тактовая синхронизация, задержка, IEEE 802.11, БЛВС.

Введение

С момента утверждения стандарта IEEE 802.11 в 1997 году беспроводные сети на его основе прошли значительную эволюцию, что существенно расширило их возможности и области применения. За эти годы были внедрены многочисленные усовершенствования, включая новые методы модуляции, использование технологии MIMO, улучшения на уровнях MAC, QoS, а также другие ключевые инновации. Благодаря этим изменениям сети IEEE 802.11 эволюционировали от низкоскоростного интернет-доступа до высокоскоростных сервисов с минимальными задержками, таких как дополненная реальность. Последние обновления стандарта потенциально включают функции, сближающие его с сотовыми сетями. Одним из ожидаемых нововведений будет механизм тактовой синхронизации между каналами – возможность, которая ранее считалась нехарактерной для беспроводных локальных сетей. Далее в статье мы рассмотрим механизмы тактовой синхронизации, используемые в современных сетях IEEE 802.11, а также проанализируем подходы к решению будущих задач в этой области.

Современные приложения и сервисы не могут существовать исключительно в проводной инфраструктуре. Таким образом, беспроводное соединение становится необходимым для их работы. Семейство стандартов IEEE 802.11 [1] в настоящее время является одним из самых популярных среди технологий беспроводных локальных вычислительных сетей (БЛВС).

Недавние достижения, такие как концепция Интернета навыков (Internet of Skills) [2], концепция сетей 2030 года [3], а также такие приложения как голографическая связь и дополненная реальность, требуют особо низкую задержку [4]. Самое современное дополнение стандарта IEEE 802.11be [5] должно обеспечить соответствующее качество обслуживания.

Рассмотрим далее механизмы тактовой синхронизации для сетей IEEE 802.11.

Методы тактовой синхронизации в IEEE 802.11

В сетях с коммутацией пакетов акцент в синхронизации смещается на обеспечение корректной синхронизации приемника с сигналом передатчика. Одним из аспектов этого в Wi-Fi является правильный выбор защитного интервала (Guard Interval, GI) [6]. В IEEE 802.11, начиная с дополнения 802.11n, выбор GI существенно влияет на производительность.

До появления IEEE 802.11be синхронизация в Wi-Fi IEEE 802.11 [7] изначально осуществлялась на уровне отдельных передач и с определенными ограничениями на уровне канала.

Стандарт IEEE 802.11be ввел функцию MLO (Multi-Link Operation), которая требует синхронизации нескольких каналов одной и той же точки доступа. В этом контексте синхронизация нескольких каналов становится критически важной для управления передачей данных через разные полосы. В данном случае задача относительно проста, поскольку тактовая синхронизация каналов осуществляется единой сущностью – точкой доступа (ТД), имеющей несколько радиомодулей.

Таким образом, до появления дополнения IEEE 802.11bn синхронизация в Wi-Fi происходит в пределах зоны покрытия одной точки доступа.

В стандарте 802.11bn синхронизация будет осуществляться на более высоком уровне. Потребуется тактовая синхронизация между несколькими точками доступа. Предполагается, что стандарт IEEE 802.11bn будет ратифицирован рабочей группой IEEE в 2028 году [8].

Характер беспроводной связи вносит необходимость решения таких проблем, как коллизии и влияния различных видов помех, что делает синхронизацию по своей природе менее точной, чем в проводных сетях. Клю-

чевым методом синхронизации в IEEE 802.11 является функция синхронизации времени (Timing Synchronization Function, TSF) [9], обеспечивающая согласованность времени всех устройств в пределах BSS. TSF использует относительную синхронизацию, выравнивая часы КУ (клиентских устройств) по часам ТД для эффективной передачи данных и координации работы сети. Можно отметить следующие преимущества TSF: упрощенная синхронизация; бесшовная интеграция; минимальная нагрузка. Однако у TSF есть следующие ограничения:

– отсутствие коррекции скорости – TSF корректирует только временные смещения, но не учитывает долгосрочный дрейф часов;
– отсутствие оценки задержки распространения;
– потенциальный синхронизационный сдвиг.

В стандарте IEEE 802.11-2012 введено два метода абсолютной синхронизации наряду с существующей относительной синхронизацией: Метод измерения времени (Timing Measurement, TM) и метод объявления времени (Timing Advertisement, TA) [10]. Эти методы обеспечивают более точную синхронизацию, используя внешние временные эталоны (например, UTC или TAI) и улучшая координацию между КУ и ТД.

TM включает двусторонний обмен данными между КУ и ТД для точной синхронизации от конца до конца. TM использует таймер с разрешением 10 нс (что точнее, чем 1 мкс в TSF), обеспечивая более высокую точность. КУ синхронизирует свои часы с опорными часами ТД, используя рассчитанное смещение. Этот метод позволяет использовать реализации, зависящие от производителя: таймер, применяемый в TM, не стандартизован, и может опираться на время UTC/TAI.

Метод TA реализует синхронизацию на основе TSF. В рамках этого метода ТД делится как своим таймером TSF, так и смещением между TSF и внешней временной ссылкой. Корректировка часов КУ выполняется на основе метки времени TA, сгенерированной таймером TSF, и передается на вышестоящие уровни для синхронизации локальных часов с системными часами ТД.

Метод TA имеет недостатки, которые включают смещение частот из-за расхождения локальных часов ТД и таймера TSF, а также погрешности синхронизации, связанные с отсутствием учета задержки распространения.

Тактовая синхронизация в IEEE 802.11bn

Среди улучшений в IEEE 802.11bn ключевую роль сыграет ожидаемая функция Multi-Access Point Coordination (MAPC). MAPC направлена на

улучшение координации времени между несколькими точками доступа, в отличие от MLO, которая работает только внутри одной точки доступа.

Таким образом, стандарт IEEE 802.11bn требует более точных механизмов синхронизации времени, что отвечает на растущие требования к высокопроизводительным сетям и приложениям с низкой задержкой. Новый стандарт IEEE 802.11bn должен улучшить синхронизацию между несколькими точками доступа и устройствами, устраняя недостатки предыдущих подходов.

Ключевыми целями синхронизации при этом являются: точность выше, чем на уровне микросекунд; координация многоточечного доступа и многоканальная синхронизация; компенсация задержки распространения.

Возможные механизмы синхронизации в IEEE 802.11bn включают следующие подходы:

– улучшенная функция синхронизации времени – включает модернизацию TSF для компенсации задержки распространения и долгосрочного дрейфа, а также расширенную координацию на нескольких каналах, что повышает устойчивость синхронизации в динамичных средах и снижает влияние помех;
– применение гибридных подходов – предполагает интеграцию протокола точного времени PTP с TSF для повышения точности в приложениях, чувствительных ко времени, а также распределенную синхронизацию между несколькими точками доступа, что уменьшает задержки и увеличивает отказоустойчивость сети.

Выводы

Отметим следующее:

1. Тактовая синхронизация остается критически важным компонентом для оптимизации работы Wi-Fi, особенно для приложений, требующих сверхнизкой задержки и высокой точности;

2. Существующие базовые механизмы синхронизации, такие как TSF, не обеспечивают необходимой точности для новых приложений. От IEEE 802.11bn отрасль ждет решения таких проблем, как задержка распространения и многоканальная синхронизация;

3. Базовый метод TSF может давать погрешность до 1 микросекунды, что может быть неприемлемо для работы 802.11bn и, следовательно, требует усовершенствования;

4. На данный момент наиболее перспективным подходом для тактовой синхронизации в IEEE 802.11bn является усовершенствованный метод TSF, который в ближайшем будущем должен вывести БЛВС на новый этап эволюции.

Список используемых источников

1. 802.11-2020 – IEEE Standard for Information Technology--Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks--Specific Requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
2. Koucheryavy A. E., Koucheryavy Y. A., Kirichek R. V. Internet of Skills. Telecommunications and Radio Engineering, 2018. №1:29-32.
3. Volkov A., Muthanna A., Koucheryavy A. 2020. Fifth generation communication networks: on the way to networks 2030. Telecom IT. Vol. 8. Iss. 2. pp. 32–43 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-2-32-43.
4. Pankov B., Makolkina M.: Research of Network Characteristics of Holographic Traffic // Telecom IT. 2022. Vol. 10. Iss. 3. pp. 20–31. DOI 10.31854/2307-1303-2022-10-3-20-31.
5. IEEE 802.11be-2024 – IEEE Approved Draft Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment: Enhancements for Extremely High Throughput (EHT).
6. Vikulov A., Skorobogatova S. Study of Guard Interval Duration Impact on the Operation of IEEE 802.11 Network. Telecom IT. 2023.11 (1): 39–49. DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-1-39-49.
7. 802.11-1997 – IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications.
8. IEEE. 2024. Official IEEE 802.11 working group project timelines. https://www.ieee802.org/11/Reports/802.11_Timelines.htm (accessed October 17, 2024)
9. Aslanova, U., Seidlitz, L., & Andre, J. 2023. Wireless Time Synchronization in IEEE 802.11. Seminar IITM SS 23.
10. Mahmood A., Exel R., Trsek H. Clock Synchronization Over IEEE 802.11–A Survey of Methodologies and Protocols. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2017. Vol. 13, № 2, pp. 907-922. DOI: 10.1109/TII.2016.2629669.
11. IEEE Std 1588-2019 - IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems.

A REVIEW OF CLOCK SYNCHRONIZATION MECHANISMS FOR IEEE 802.11 NETWORKS

Vikulov A., Skorobogatova S.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

With the development of digital services, especially with the emergence of more complex applications, the need for low-latency networks has significantly increased. As demand for such applications grows, clock synchronization mechanisms become essential for coordinating devices in the network. Their effectiveness in reducing latency directly impacts the overall quality of service by minimizing delays in interaction. To meet these requirements, both recently introduced and upcoming enhancements in the future IEEE 802.11bn standard are taking a step forward by adopting approaches characteristic of cellular networks. One such approach is the requirement for inter-channel clock synchronization. This article discusses clock synchronization mechanisms in current and future IEEE 802.11 networks and provides an overview of possible approaches applicable to this task.

Key words: *clock synchronization, latency, IEEE 802.11, WLAN*

УДК 621.391.31
ГРНТИ 45.31.01

ПРИМЕНЕНИЕ НЕ КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ЭЛЕКТРОПИТАЮЩИХ УСТАНОВКАХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

П. Ю. Виноградов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В электропиатющих установках базовых станций сотовой связи аккумуляторные батареи обеспечивают выполнение важнейшего качества – бесперебойности электропитания и, тем самым, бесперебойности мобильной связи. Уличное расположение (outdoor) базовых станций предъявляет дополнительные требования к аккумуляторным батареям. Важным является минимальная зависимость характеристик аккумулятора от широкого диапазона наружной температуры. Решить проблему применением системы кондиционирования, как это делается в помещениях предприятий связи, для уличных базовых станций дорого и не надежно. Аккумуляторы имеют низкую удельную плотность запасенной энергии. Это увеличивает их массу и объем особенно при больших временах резервирования. Не кислотные аккумуляторы, например, на основе лития или хлорида натрия существенно лучше кислотных по указанным выше требованиям. Ряд операторов связи начинают их применять.

электропитающая установка, аккумуляторная батарея, температурная зависимость, плотность энергии

В настоящее время в РФ действует ГОСТ Р 55950–2014, основанный на европейском стандарте ETS 300 132 (Part 2 – Interface operated by direct current – 48 V). Первая редакция европейского стандарта вышла в 1994 г, после вступления в силу нового международного стандарта по электробезопасности IEC 950 (EN 60950) в 1990 г. Стандарт IEC 950 ужесточил требования к уровням напряжений, выше которых должна применяться двойная изоляция проводов. На постоянном токе теперь это 60В.

48В – это условная цифра, означающая, что для обеспечения бесперебойности на выходе электропитающей установки (ЭПУ) подключена свинцово-кислотная аккумуляторная батарея (АБ), состоящая из 24 последовательно включенных двух вольтовых элементов. Реальное напряжение ЭПУ поддерживается контроллером в пределах от 53В до 55В. Оно должно превышать электродвижущую силу полностью заряженной батареи при работе ЭПУ от системы электроснабжения для обеспечения постоянной готовности АБ. Диапазон напряжения питания от ЭПУ, при котором нормально

должно работать телекоммуникационное оборудование, стандартизован в пределах от 40,5В до 57В. Этот диапазон обоснован изменением напряжения на 24-х элементной свинцово-кислотной АБ от конечного напряжения разряда (1,7В на элемент) до максимального безопасного напряжения заряда (2,4В на элемент).

30 лет назад, кроме свинцово-кислотных, были широко распространены щелочные аккумуляторы. Они не могут использоваться в буферном режиме (подключены параллельно выходным клеммам) в ЭПУ из-за почти двухкратной разницы между минимальным напряжением разряда и максимальным заряда. Дополнительные коммутации элементов или регуляторов для уменьшения разброса напряжения ЭПУ при работе от АБ не рекомендованы из-за снижения надежности.

Сейчас свинцово-кислотные АБ прошли пик своего развития. В современных необслуживаемых (герметизированных) АБ, построенных по технологиям Gel или AGM, газовыделение снижено на два порядка при условиях эксплуатации при комнатной температуре, пульсациях не более 10 мВ и поддержания контроллером постоянного напряжения на выходе ЭПУ с точностью три знака. Это возможно при размещении ЭПУ в помещениях, что обеспечивает заданный производителем срок службы АБ.

В уличных системах, а это большинство базовых станций сотовой связи, узлы радиорелейной связи, объекты АО «Компания ТрансТелеКом», кондиционирование дорого и ненадежно. Оборудование ЭПУ находится практически при температуре окружающей среды. Оно может зимой подогреваться, поскольку емкость свинцово-кислотных АБ резко падает при отрицательных температурах, уменьшая время резервирования. Летом при росте температуры на каждые 10^0 скорость химических реакций увеличивается вдвое. У свинцово-кислотных АБ это приводит к двухкратному возрастанию газовыделения и, соответственно, сокращению срока службы. Другой недостаток свинцово-кислотных АБ их минимальная плотность удельной энергии как по объему, так и по массе, что может быть критичным для уличных объектов.

В 90-е годы промышленностью стали выпускаться еще два типа АБ, которые по своим разрядно-зарядным характеристикам укладываются в диапазон 40,5В – 57В и могут использоваться в качестве агрегатов бесперебойного питания в составе ЭПУ. Это батареи на основе лития и батареи на основе хлорида натрия. Последние получили существенно меньшее распространение. В настоящий момент даже не установилось их окончательное

название. Их называют солевыми, никель-солевыми, никель-натрий-хлоридными. Принципу их действия и возможности применения в телекоммуникациях посвящена настоящая статья.

Никель-солевая АБ состоит из отдельных элементов, набираемых последовательно или параллельно, практически без ограничения их числа. Один элемент имеет форму прямоугольного стакана со следующими характеристиками:

– напряжение: 2.2 – 2.7V (2.58V в разомкнутой цепи);
– номинальная емкость: 38 – 40Ач;
– габариты (ДхШхВ): 36 х 36 х 220 мм, вес элемента: 695 г;
– показатели удельной энергоемкости:
  - 140 Вт.ч/кг (для сравнения, в свинцовых АБ: 25 – 35 Вт.ч/кг)
  - 280 Вт.ч/л (для сравнения, в свинцовых АБ: 70 – 100 Вт.ч/л)

Корпус элемента делается из стали, внутри находится керамический сепаратор из β-глинозема, внутри сепаратора – поваренная соль (*NaCl*), порошок никеля и положительный токосъемник из никелевой проволоки. Между сепаратором и корпусом находится натрий. На рис.1 приведены электрохимическая реакция при заряде и разряде никель-солевого аккумулятора и его конструкция [1].

Рис. 1. Электрохимическая реакция при заряде и разряде никель-солевого аккумулятора и его конструкция

Выпуск никель-солевых аккумуляторов начался в конце 90-х годов в Европе и Южной Африке. Для телекоммуникаций выпускаются батареи из

20 элементов с диапазоном напряжений от 44В до 56В. Емкость батареи от 80 Ач.

Особенность АБ в том, что она работает при температуре от 260^0 до 350^0. Разогрев происходит 15-20 часов. Что не критично для ЭПУ, т.к. после ввода в эксплуатацию электропитание работает годами. Хорошая термоизоляция устраняет зависимость характеристик АБ от внешней температуры. Срок службы АБ не менее 20 лет, число циклов заряд-разряд – тысячи. При хранении в охлажденном виде никаких химических реакций не происходит. Срок хранения не ограничен. Основные элементы: сталь, никель, натрий, хлорид натрия, хлорид никеля и глинозем. Все не дорогое.

В разряженном состоянии расплав поваренной соли и порошок никеля находится внутри керамического сепаратора. При заряде *NaCl* реагирует с никелем получается $NiCl_2$ и жидкий *Na*, который проникает через сепаратор и заполняет пространство между сепаратором и корпусом (температура плавления натрия ниже 100^0). При разряде идет обратная реакция.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики аккумуляторов различных типов, где – – - крайне слабые характеристики, – - слабые, + - нормальные, + + - хорошие, + + + - очень хорошие, + + + + - лучшие.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение различных типов батарей по ключевым эксплуатационным параметрам

Химический принцип	Оптимальная температура для работы	Срок службы при 20 °C	Ускорение износа, на каждые +10 °C	Плотность энергии, Вт/кг и Вт/л	Ресурс в циклах, 80% DoD	Диапазон рабочих температур	Время заряда	Гарантийный срок	Непривлекательность для кражи	Безопасность	Обслуживание
Свинцово-кислотные	20 °C	–	50%	–	+	– –	–	– –	– –	+	– –
Никель-кадмиевые	20 °C	+ + +	20%	+	+ +	+	–	–	+	+ +	–
Литий-железно-фосфатные (LFP)	20 °C	+	25%	+ +	+ +	+	+ + +	–	–	–	–
Литиево-никель-марганец-кобальтовые (NMC)	20 °C	+	25%	+ + +	+ + +	+	+ + +	–	–	–	–
Литиево-никель-кобальт-алюминиевые (NCA)	20 °C	+	25%	+ + +	+ + +	+	+ + +	–	–	–	–
Никель-солевые (Ni/NaCl)	**-40—+60 °C**	+ + +	**0%**	+ +	+ + +	+ + + +	+	+ + +	+ + +	+ + +	+ + + +

АБ содержит блок мониторинга *BMS*, основная задача которого поддерживать высокую рабочую температуру. Поэтому обслуживание АБ минимально.

Положительный опыт эксплуатации никель-солевых АБ в ЭПУ базовых станций в нашей стране есть у ПАО «ВымпелКом». В других странах, кроме телекоммуникаций, такие АБ используются в электротранспорте, в энергонакопителях.

Аккумуляторы экологически безопасны, пожаробезопасны, т.к. при температуре 300^0 возгорание не происходит. Они герметичны и не испускают при работе никаких веществ в окружающую среду, не содержат высокотоксичных материалов и полностью поддаются переработке [2].

Список используемых источников

1. Особенности устройства никель-солевых аккумуляторов и основные компоненты. URL: http://fzsonick.ru/technology/ (дата обращения 10.04.2025).

2. Вона М., Иващенко Ф. Почему альтернативные технологии аккумуляторов набирают популярность: опыт применения никель-солевых батарей FZSoNick в телеком-инфраструктуре, промышленности, энергетике и на транспорте // XIX Международная конференция «Состояние и перспективы развития энергетики связи» (СПРЭС–2018). СПб: RDesign, 2018.

THE USE OF NON-ACID BATTERIES IN THE POWER SUPPLY OF CELLULAR BASE STATION

Vinogradov P.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In the power supply of cellular base stations, rechargeable batteries ensure the most important quality - uninterrupted power supply and, thus, uninterrupted mobile communications. The outdoor location of the base stations imposes additional requirements on the batteries. It is important to minimize the dependence of battery characteristics on a wide range of outdoor temperatures. To solve the problem by using an air conditioning system, as it is done in the premises of communication enterprise, is expensive and not reliable. Batteries have a low specific density of stored energy. This increases their mass and volume, especially with long backup times. Non-acid batteries, for example, based on lithium or sodium chloride, are significantly better than acid batteries according to the above requirements. A number of telecom operators are starting to use them.

Key words: *Power supply, battery, temperature dependence, energy density*

УДК 621.391, 004.7
ГРНТИ 49.37.29

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТОКОЛА NCRP В СИСТЕМАХ С ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДУПЛЕКСНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ

С. С. Владимиров, А. И. Фомин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Статья представляет вариант применения протокола ретрансляции с сетевым кодированием NCRP для случая систем с дуплексной передачей данных и прямым управлением содержимым прямого и обратного каналов. Рассмотрен общий принцип применения сетевого кодирования в рассмотренном сценарии работы. Показано, как предлагаемый подход позволяет уменьшить задержку доставки данных и уплотнить содержимое кадров прямого канала. Представлен пример формирования заголовка протокола NCRP для рассмотренного сценария.

сетевое кодирование, протокол NCRP, заголовок протокола, задержка, дуплексная передача

Предложенный в предыдущих работах авторов протокол NCRP изначально рассчитан на применение в системах передачи с ретрансляцией пакетов и сети со звездообразной топологией, использующие передачу данных с общей разделяемой средой и полудуплексный режим работы [1, 2]. Тем не менее, он также может быть использован в сетях со звездообразной топологией и дуплексной передачей с централизованным управлением.

Весь трафик в таких сетях проходит через центральное устройство, которое содержит буферы памяти для каждого входящего в сеть оконечного устройства, разделенные на блоки памяти, соответствующие потокам данных, с которыми это устройство работает в данный момент. Соответственно, пакеты каждого из потоков данных, приходя в центральный узел, попадают в эти блоки памяти. Затем центральное устройство выделяет время для передачи этих пакетов и только потом выполняет их передачу, что приводит к некоторой задержке при доставке пакетов до конечного получателя (другого оконечного устройства данной сети). Наличие этой задержки позволяет применять сетевое кодирование и протокол NCRP для уменьшения количества пакетов, передаваемых в сети и уменьшения итоговых задержек доставки пакетов.

Предположим, что используется простая звездообразная сеть передачи с централизованным управлением, в которой применяется дуплексная передача на основе временного разделения каналов. В таком случае все время работы сети разбивается на отдельные временные интервалы (суперкадры), каждый из которых разбивается на два временных кадра – кадр прямого канала и кадр обратного канала, обеспечивая передачу от центрального узла к оконечным и от оконечных узлов к центральному, соответственно.

Централизованное управление предполагает, что порядок передачи пакетов (или блоков) данных в кадрах прямого и обратного каналов определяется центральным узлом, который формирует расписание каждого из кадров и передает его оконечным узлам до передачи пакетов пользователя (например, в заголовке кадра прямого канала). Подобный принцип применяется, например, в системах передачи данных, основанных на технологии 802.16 [3].

Простой пример формирования суперкадра представлен на рис. 1.

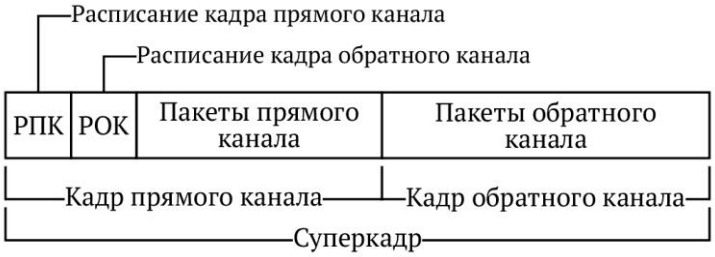


Рис. 1. Пример формирования суперкадра с централизованным управлением прямым и обратным каналами

Расписание каналов передается в начале идущего первым кадра прямого канала. Прочая служебная информация (синхропреамбулы, контрольные суммы, защитные временные интервалы) для простоты на рис. 1 не показана.

Поскольку данные от оконечных устройств передаются в кадре обратного канала, идущего вторым, они могут быть ретранслированы центральным узлом в следующем кадре прямого канала (то есть в следующем суперкадре) или позднее. Таким образом, освобождается время для выполнения операций сетевого кодирования и распределения закодированных пакетов в расписании и кадре прямого канала.

Рассмотрим применение сетевого кодирования в суперкадре рассматриваемого примера, представив его в виде рис. 2. Пусть оконечные устройства *A* и *B* передают друг другу пакеты P_A и P_B, соответственно. Тогда эти пакеты будут размещены в кадре обратного канала первого суперкадра (рис. 2).

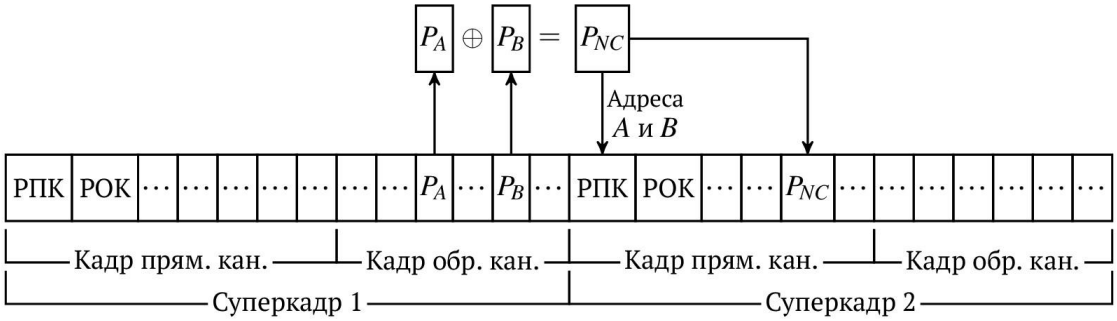


Рис. 2. Пример сетевого кодирования пакетов в суперкадре при централизованном управлении передачей

После получения пакетов P_A и P_B центральный узел выполняет их сетевое кодирование, формируя пакет P_{NC}, и размещает его в кадре прямого канала второго суперкадра, указывая его местоположение в расписании прямого канала. Таким образом, применение сетевого кодирования позволяет «сэкономить» один слот в кадре прямого канала второго суперкадра. Следует отметить, что при использовании сетевого кодирования в расписании прямого канала должна быть предусмотрена возможность указания нескольких получателей, чтобы оба узла A и B могли понять, что пакет P_{NC} предназначен для них.

Рассмотрим использование протокола NCRP для рассматриваемого примера сетевого кодирования в суперкадре. В качестве адресов узлов сети будем использовать MAC-адреса сетевых устройств – 02:00:00:00:00:0A и 02:00:00:00:00:0B, соответственно. Для примера используем формат заголовка NCRP общего вида с предопределенной последовательностью полей [6, 18].

На рис. 3 и 4 представлены заголовки протокола NCRP для исходных пакетов P_A и P_B.

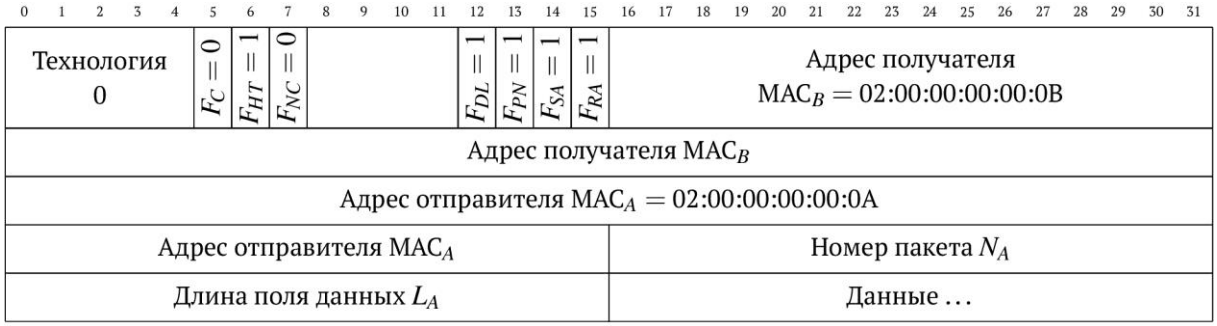


Рис. 3. Заголовок протокола NCRP для пакета PA

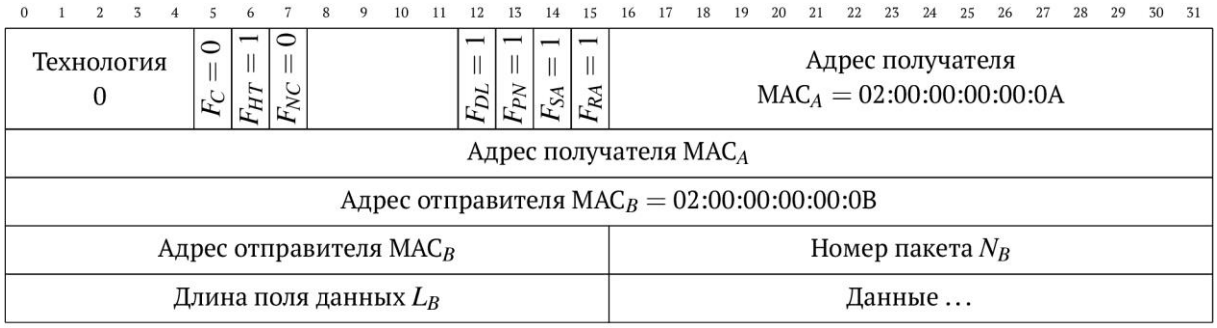


Рис. 4. Заголовок протокола NCRP для пакета P_B

После сетевого кодирования на центральном узле будет сформирован пакет P_{NC}, заголовок которого представлен на рис. 5. Учитывая, что адреса оконечных узлов-получателей A и B указываются в расписании прямого канала, нет необходимости дополнительно указывать их в заголовке пакета P_{NC}. Но для этого необходимо однозначно определить, какой из оконечных узлов будет первым, а какой вторым в заголовке закодированного пакета P_{NC}. Для этого используем подход, при котором первым всегда будет узел с меньшим значением адреса – в рассматриваемом примере это узел A.

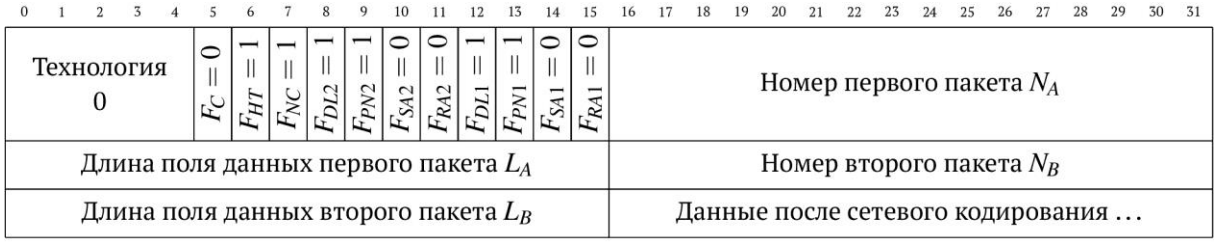


Рис. 5. Заголовок протокола NCRP для пакета P_{NC}

Получив пакет P_{NC}, оконечные узлы A и B смогут восстановить предназначенные им пакеты P_B и P_A соответственно. Рассмотрим процедуру декодирования на примере узла A.

Зная, что отправителем пакета P_B является узел B, адрес которого меньше адреса узла A, узел A выделяет из заголовка пакета P_{NC} номер пакета N_A, который использует для нахождения собственного пакета P_A в буфере отправленных пакетов. Далее узел A выделяет из заголовка P_{NC} длину поля данных L_B пакета P_B. Выполнив сетевое декодирование и восстановив пакет P_B, узел A выделяет из заголовка P_{NC} номер N_B пакета P_B для соблюдения корректной последовательности входящих пакетов.

Предложенный в статье подход позволяет использовать протокол NCRP не только в полудуплексных системах с общей разделяемой средой, но и в дуплексных системах передачи с централизованным управлением

прямым и обратным каналами при различных способах организации дуплексной связи. Помимо рассмотренного в примере временного дуплекса, тот же подход к сетевому кодированию может быть использован и в случае дуплексной передачи с разделением по частоте.

Научное исследование в ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича выполнено в рамках мегагранта Минобрнауки по соглашению № 075-15-2022-1137.

Список использованных источников

1. Владимиров С. С., Гутовский А. С. Концепция протокола радиоудлинителя на основе метода сетевого кодирования // Перспективные технологии в средствах передачи информации. Материалы 14-ой международной научно-технической конференции. Владимир: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 2021. С. 117–121.

2. Владимиров С. С., Бородин А. С., Фомин А. И., Кучерявый А. Е. Протокол ретрансляции с сетевым кодированием // Электросвязь, 2023. № 6. С. 47–53.

3. 802.16-2017 – IEEE Standard for Air Interface for Broadband Wireless Access Systems. IEEE, 2018. 2726 p.

APPLICATION OF NCRP PROTOCOL IN SYSTEMS WITH CENTRALIZED CONTROL OF DUPLEX DATA TRANSMISSION

Vladimirov S., Fomin A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper presents a variant of application of the NCRP relay protocol with network coding for the case of systems with duplex data transmission and direct control of the contents of the forward and reverse channels. The general principle of application of network coding in the operation scenario is considered. It is shown how the proposed approach allows to reduce the delay of data delivery and to compact the contents of the forward channel frames. An example of formation of the NCRP protocol header for the considered scenario is presented.

Key words: *network coding, NCRP protocol, protocol header, delay, duplex transmission*

УДК 004.722
ГРНТИ 49.33.29

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ВИРТУАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ MNVO В СЕТЯХ 5G

А. Б. Гольдштейн, С. М. Елисеев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассматривается концепция виртуальных мобильных операторов MVNO (Mobile Virtual Network Operator) на современном этапе развития сетей мобильной связи. Приводятся основные модели и архитектуры построения MVNO в сетях 5G, их особенности и перспективы практического применения. Показаны подходы к построению MVNO на основе ключевых технологических решений сетей 5G, таких как Network Slicing и виртуализация сетевых функций NFV (Network Functions Virtualization), проблематика, преимущества и новые возможности, которые они открывают для виртуальных операторов.

MVNO, 5G, сетевые архитектуры, NFV, Network Slicing

Термин MVNO определяет виртуальных мобильных операторов, использующих сеть радиодоступа и, опционально, другие элементы инфраструктуры опорных мобильных операторов PMNO (Physical Mobile Network Operators), и предоставляющих услуги под собственным именем.

Подходы к построению виртуальных операторов описываются функциональными моделями. В действующих сетях мобильной связи поколений 2-4G определены и широко применяются следующие функциональные модели построения MVNO [1].

Branded Reseller – оператор, который производит маркетинг и продажу сервисов PMNO, но под собственным именем. При этом отсутствует возможность управления данными сервисами.

MVNO Light – оператор, который аналогично предоставляет сервисы PMNO, но при этом есть возможность самостоятельного управления бизнес-приложениями при построении тарифных предложений для пользователей.

MVNO Full – оператор, который частично или полностью обладает своей опорной сетью мобильной связи. Данный подход позволяет виртуальному оператору самостоятельно предоставлять и управлять сервисами в рамках соглашений с PMNO.

В мобильных сетях поколения 5G, когда объемы их покрытия вызовут интерес у виртуальных операторов, данные модели будут также применимы

и задействованы. Модели Branded Reseller и MVNO Light относятся исключительно к коммерческой плоскости. Технический интерес представляют виртуальные операторы, построенные по модели Full.

Варианты построения MVNO Full в сетях 5G возможны в рамках следующих архитектур.

Архитектура MVNO 5G на основе GWCN (Gateway Core Network)

Архитектура, при которой точки интеграции между PMNO и MVNO находятся в опорных сетях (рис. 1).

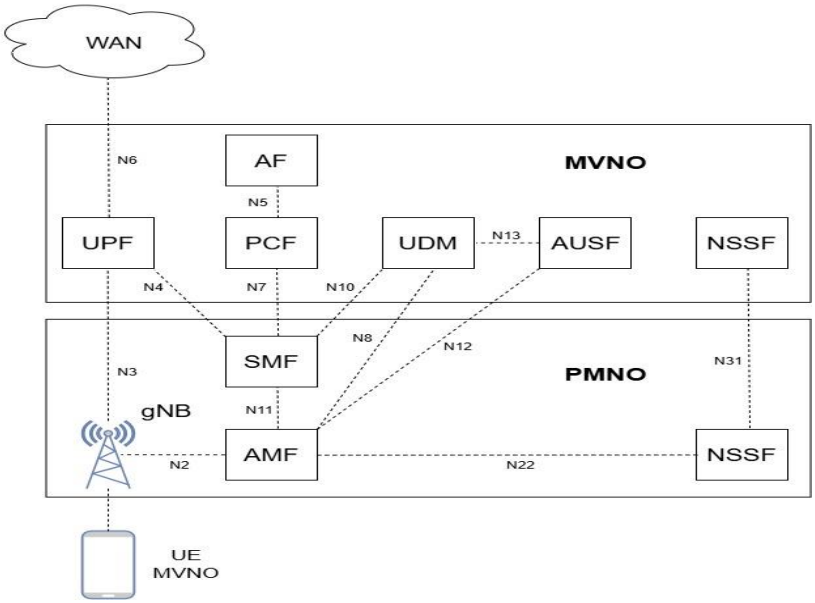


Рис. 1. Архитектура MVNO 5G на основе GWCN

Построение MVNO Full на основе GWCN широко распространено в действующих мобильных сетях 2-4G. Сценарии и соглашения при взаимодействии между PMNO и MVNO при GWCN в 5G будут аналогичны и организованы на базе процедур роуминга. Нововведением, которое необходимо учитывать, является совместимость параметров сетевых сегментов 5G (Network Slices) между виртуальным и опорным оператором при реализации сервисов.

Архитектура MVNO 5G на основе MOCN (Multi-Operator Core Network)

Архитектура определяет совместное использование только сети радиодоступа между операторами PMNO и MVNO. Опорная сеть 5G принадлежит и управляется MVNO целиком (рис. 2) [2].

Базовые станции 5G (NG-RAN) реализуют логику распределения абонентов между опорными сетями PMNO и MVNO, анализируя код мобильной сети, в которой обслуживается абонент.

Подход MOCN не нашел широкого применения в сетях предыдущих поколений из-за невозможности контроля и учета потоков данных абонентов MVNO со стороны PMNO, так как задействована только сеть радиодоступа. Другая проблема заключается в том, что для подключения MVNO необходимо производить реконфигурацию всех базовых станций PMNO. Данные факторы актуальны и для сетей 5G, поэтому большого числа внедрений MVNO на основе MOCN не прогнозируется [3].

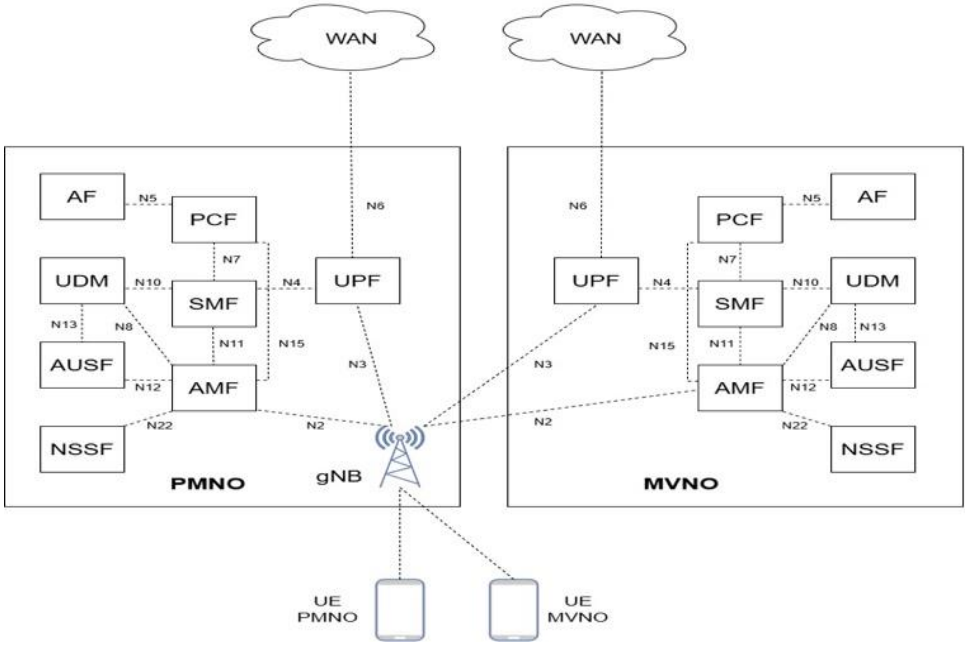


Рис. 2. Архитектура MVNO 5G на основе MOCN

Архитектура MVNO 5G на основе Network Slicing

Использование Network Slicing позволяет разделить сеть 5G на несколько сетевых сегментов. Данная технология дает возможность конфигурировать и многократно использовать функциональные модули сети 5G в каждом сетевом сегменте для удовлетворения определенных требований. Опорный оператор PMNO может задействовать сетевые сегменты не только для реализации собственных сервисов, но и предлагать их MVNO.

Интеграция MVNO с PMNO посредством предоставления сетевого сегмента привносит принципиально новые сценарии взаимодействия, ранее недоступные в сетях 2-4G.

Мониторинг, контроль и управление сетевым сегментом силами MVNO будет производиться через стандартные интерфейсы сети 5G PMNO.

Архитектура и модель управления сетевыми сегментами, определенная 3GPP, состоит из следующих функций (рис. 3) [4]:

– CSMF (Communication Service Management Function) – функция управления сервисами коммуникации 5G. Точка взаимодействия между арендаторами сетевых сегментов и платформами управления системами 5G PMNO;
– NSMF (Network Slice Management Function) – функция управления сетевыми сегментами. Принимает и обрабатывает процедуры от CSMF и распределяет их в соответствующие подсети сетевого сегмента;
– NSSMF (Network Slice Subnet Management Function) – функция управления подсетью сетевого сегмента. NSSMF управляют подсистемами сети 5G: сети радиодоступа, транспортные сети и функциями опорной сети 5G.

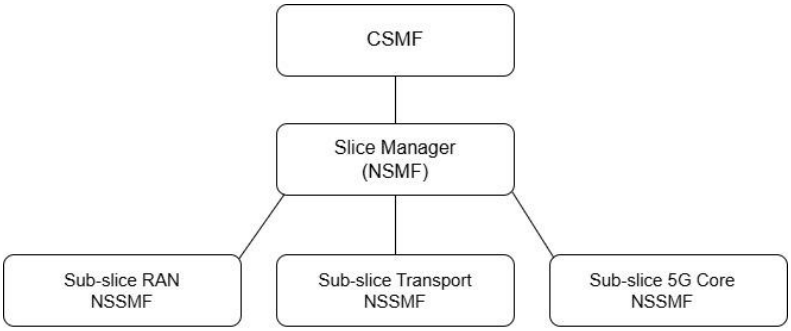


Рис. 3. Модель управления сетевыми сегментами 3GPP

Данный набор функций управления можно объединить одним термином – стек функций управления сегментами SMF (Slice Management Function).

Управление сетевыми сегментами MVNO через центральный стек PMNO вносит определенные ограничения. В частности, для MVNO может потребоваться выделение только части функциональных возможностей системы управления PMNO. Например, только управление на уровне логики реализации сервисов или только управление транспортной сетью в выделенных сегментах. Вторым важным аспектом является время отклика процедур управления в зависимости от отдаленности, количества MVNO и текущей загрузке систем управления PMNO.

Это может стать проблемой для MVNO, которые предоставляют сервисы в режиме реального времени, требующие низких задержек на уровне сети и управления.

Для преодоления данных ограничений предлагается обеспечить виртуальных операторов расширенными возможностями управления путем предоставления каждому MVNO собственного стека SMF. Такой подход обеспечивает автономность и гибкость виртуальных операторов MVNO для управления и оркестрации ресурсов сетевых сегментов, предоставляемых PMNO.

В этой связи можно выделить три основных модели построения MVNO на основе Network Slicing (рис. 4):

1. MVNO с выделенным стеком SMF и изолированной инфраструктурой виртуализации NFVI (Network Functions Virtualization Infrastructure). Управление производится через платформу NFV-MANO (NFV Management and Orchestration), развернутую исключительно для MVNO.

2. MVNO с выделенным стеком SMF, управляющий NFVI, используя общую платформу MANO в составе PMNO.

3. MVNO, который контролирует арендованные сетевые сегменты посредством центрального стека SMF MNO.

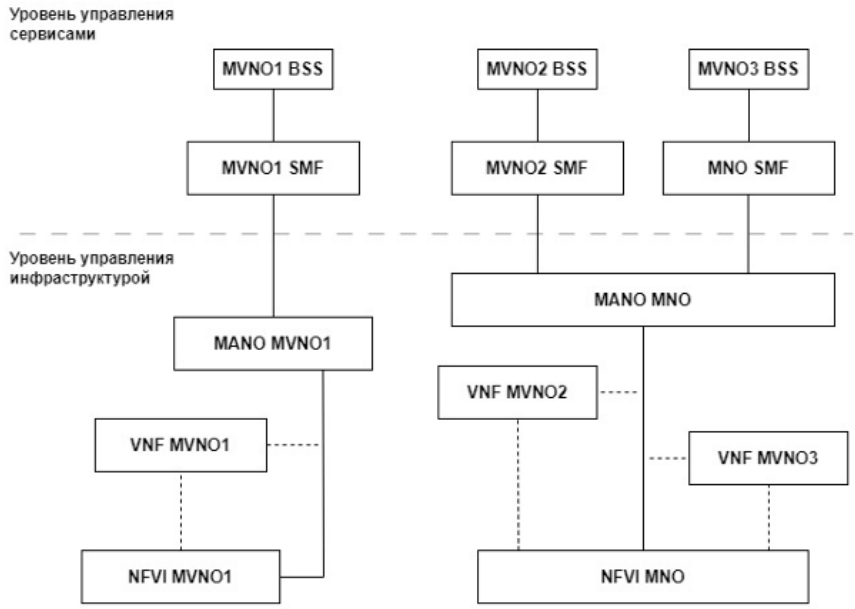


Рис. 4. Расширенные модели MVNO на основе Network Slicing

Представленные модели обеспечивают децентрализованное и независимое управление MVNO арендованными сегментами с гибкими индивиду-

альными возможностями в зависимости от требований и реализуемых сервисов.

Построение MVNO на основе технологии Network Slicing значительно расширяет спектр возможностей виртуальных операторов по сравнению с действующими широко используемыми моделями. Данный подход кратно увеличивает скорость запуска новых виртуальных операторов при минимальных затратах. Нет необходимости целиком приобретать и внедрять ядро сети 5G. При этом у MVNO появляется возможность контролировать и управлять подсистемой доступа, что ранее противоречило всей концепции MVNO. Традиционные же технологические подходы на основе GWCN и MOCN будут также применимы на первых этапах массового внедрения MVNO в сетях 5G.

Список используемых источников

1. Гольдштейн Б. С. Инфокоммуникационные сети и системы. СПб.: БХВПетербург, 2019. 208 с.

2. 3GPP TS 23.501 V15.3.0 (2018-09) System Architecture for the 5G System.

3. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Коваль В. А., Девяткин Е. Е. Развитие сетей мобильной связи от 5G Advanced к 6G: проекты, технологии, архитектура. М.: Техносфера, 2023. 321 с.

4. 3GPP TS 28.533 V15.0.0 (2018-10) Management and orchestration; Architecture framework.

TECHNOLOGICAL APPROACHES TO BUILDING VIRTUAL MOBILE OPERATORS MVNO IN 5G NETWORKS.

Goldstein A., Eliseev S.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The concept of virtual mobile operators MVNO (Mobile Virtual Network Operator) at the current stage of mobile networks development is considered. The main models and architectures of MVNO construction in 5G networks, their features and prospects for practical application are given. Approaches to MVNO construction based on key technological solutions of 5G networks, such as Network Slicing and NFV (Network Functions Virtualization), problems, advantages and new opportunities that they open up for virtual operators are shown.

Key words: *MVNO, 5G, network architectures, NFV, Network Slicing*

УДК 654.153
ГРНТИ 49.33.29

ТЕСТИРОВАНИЕ СЕТЕЙ NGN и ПОСТ-NGN С ПРИМЕНЕНЕНИЕМ СЕТЕЙ ПЕТРИ

А. Б. Гольдштейн, А. В. Зимин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассмотрены подходы к тестированию сетей связи от первого поколения до сетей пост-NGN, к которым сегодня относят поколения после 5G (Beyond 5G). Предложенный подход предполагает объединение математических абстракций представленных на базе конечных автоматов поведения, языка MSC и вероятностные древовидные сценарии с привлечением аппарата сетей Петри.

Beyond 5G, тестирование сетевой инфраструктуры, конечный автомат поведения КАП, киберфизическая система

Введение

Первым поколением методов тестирования общедоступной фиксированной телефонной сети ТфОП были контрольные вызовы – основной инструмент для проверки и мониторинга качества предоставляемых услуг. Он использовался операторами связи и регулирующими органами для оценки таких параметров связи, как время установления соединения (Post Dialing Delay, PDD) – интервал между моментом завершения набора номера и моментом начала звонка в секундах; уровень успешности соединений (Call Completion Rate, CCR) – доля вызовов, которые успешно завершились соединением между абонентами; качество голоса (Mean Opinion Score, MOS) - субъективный параметр, оцениваемый по шкале от 1 до 5, где 5 – идеальное качество; процент обрывов соединений (Call Drop Rate, CDR) – доля вызовов, которые завершились не по желанию абонентов, а в результате технических проблем. Допустимый уровень: 1‰ (0.1 %) для телефонных соединений внутри страны, а для международных вызовов значение может увеличиваться до 3‰ (0.3 %), etc.

Но это поколение в сегодняшней градации правильнее было бы называть нулевым, а эволюцию методов и средств тестирования сетей связи начинать отсчитывать с первой ступеньки на рис. 1. Тем более, что бригады сотрудниц телефонных сетей, выполнявших эти контрольные вызовы, давно расформированы, а разработанные учеными ЛОНИИС глубокие математи-

ческие модели этого процесса тестирования сегодня имеют лишь историческую ценность.

Рис. 1. Эволюция сетей связи

Более того, вслед за тестированием ТфОП канули в лету модели и методы тестирования аналоговых сетей 1G, поэтому начнем с тестирования на сетях 2G (сети GSM, относящиеся ко второму поколению), где оценивались производительность и качество услуг цифровой связи [1]. Тестирование включало проверку голосовых вызовов, передачи данных, SMS и других базовых услуг, выявление зон с низким уровнем сигнала или высокой загруженностью сети, сравнительный анализ качества услуг разных операторов в одном регионе, оптимизацию сети, т.е. поиск точек для улучшения покрытия или увеличения пропускной способности.

Тестовые сценарии MSC

Тестирование последующих поколений сетей на рис. 1 также включает анализ скорости передачи данных, качества голосовых вызовов через VoLTE, например, задержки, пропускной способности и др. Очевидно, что одними инженерными методами, без формализации, абстрактного представления, научного инструментария справиться с проблемами тестирования сетей 5G [2, 3] не представляется возможным. Далее в работе рассматриваются два научных подхода к проблематике тестирования сетей B5G:

– формализация тестовых сценариев, восходящая к теоретическим основам рекомендации Z.120 ITU-T по языку MSC (Message Sequences Chat);
– вероятностный анализ тестовых сценариев с привлечением аппарата сетей Петри.

Предлагаемый в работе подход на первой фазе тестирования предполагает разработку тестовых сценариев на описанном в рекомендациях ITU-T (ITU-T Z.120 Formal Description Techniques (FDT) – Message Sequence Chart (MSC) 02/2011. URL: https://www.itu.int/rec/T-REC-Z.120-201102-I) языке

тестовых сценариев обмена сигналами между различными узлами, процессами или объектами сети MSC [4, 5]. Спецификация MSC описывается пятеркой:

$$MSCs=(S,s_0,\sum^R,n_r,S_r),$$

где: S – конечное множество сценариев bMSC,

$s_0 \in S$ является сценарием верхнего уровня,

$\sum^R$ множество имен,

n_r: $S \rightarrow \sum^R$ – функция сопоставления имен bMSC с каждым bMSC,

$S_r=\{(s_1,s_2)|s_1,s_2 \in S\}$ является ссылочным отношением между сценариями bMSC.

Взаимодействия между компонентами системы представлены линиями сообщений. Посылка и прием сообщения – это два асинхронных события. Последнее предполагает, что в MSC окружающая среда способна принимать и посылать сообщения независимо.

Предполагается также, что поведение окружающей среды также подчинено законам MSC. Для каждого события MSC предполагается глобальная ось времени. Вдоль каждой оси отсчет времени идет сверху вниз, однако собственная шкала времени не определена.

К достоинствам такого описания процессов при помощи MSC относятся исключительная наглядность и легкость, с которой могут быть проверены протоколы, специфицированные таким методом (рис. 2).

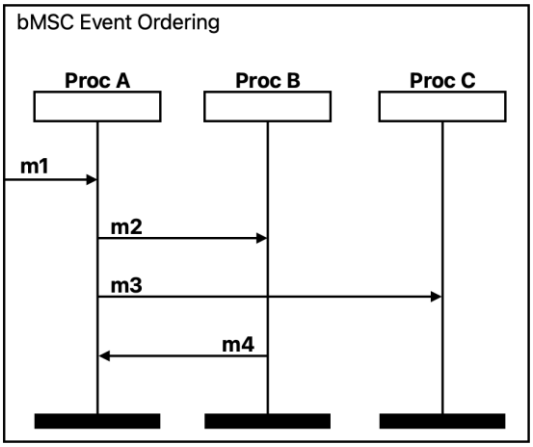


Рис. 2. Порядок событий MSC

В предлагаемом подходе семантика MSC, по существу, состоит в последовательностях (трейсах) сообщений, отправленных и полученных между параллельными (одновременно действующими) процессами в *MSC*. Порядок коммуникационных событий (сообщение отправлено или полу-

чено) в трейсе выводится в визуальном виде в порядке следования сверху вниз для каждого процесса в MSC вместе со случайной зависимостью между событиями отправки и получения сообщений. Далее без потери общности, мы предполагаем, что каждый MSC соответствует визуальному порядку для пар событий, причем находящийся выше в диаграмме на рис. 2 предшествует событию, расположенному ниже в следующих случаях:

Причинность: Отправка событие m3 и получение соответствующего события m4

Управляемость: Сообщение m2 появляется раньше сообщения m3 на одной и той же линии процесса и m3 – это отправленное событие. Такой порядок отражает факт того, что отправленное событие может ожидать происхождения других событий. Таким образом осуществляется FIFO order.

Сети Петри в тестировании сетей связи B5G

В качестве инструмента, используемого для тестирования сети связи, *переходы transitions* сетей Петри представляют собой чрезвычайно полезный инструмент. Для примера, сеть Петри изображена на рис. 3.

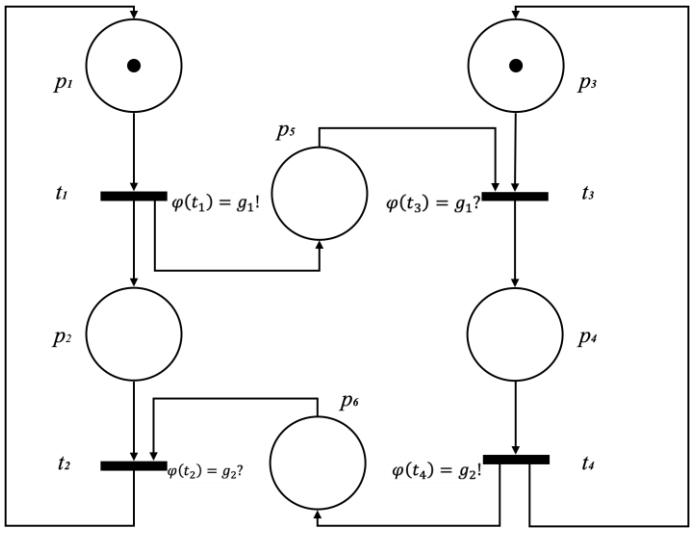


Рис. 3 Пример сети Петри

Напомним, что речь идет о применении сетей Петри для сценарий-ориентированных спецификаций, представленных MSCs., поэтому каждый переход t промаркирован с событием, которое может быть соотнесено с сообщением, отправленным или полученным в MSC, которое обозначается φ(t).

Таким образом, для MSC D = (P, E, M, L, V), для перехода t сети Петри там может быть сообщение g∈M и событие e∈E такие что φ(t) = g! = ϕ(e) или φ(t) = g? = ϕ(e).

Заключение

Спецификации тестовых сценариев на языке диаграмм последовательности сообщений MSC, совместно с применением сетей Петри представляют собой чрезвычайно полезный инструмент и могут использоваться для тестирования сетей NGN/5G (сетевых слайсов, новых сетевых элементов, и т.п.), но для сетей сетей B5G эти же задачи тестирования становится гораздо более сложной проблемой из-за уникальных характеристик и принципиально новых требований к тестированию, предъявляемых этими сетями.

Использование аппарата MSC и сетей Петри, в составе единого подхода, является весьма перспективным методом, позволяющим тестировать и анализировать работу сетевой инфраструктуры, моделировать и исследовать разные варианты ее развития.

Список используемых источников

1. Гольдштейн Б. С. Инфокоммуникационные сети и системы. СПб.: БХВ-Петербург, 2024.

2. Кучерявый А. Е., Гольдштейн Б. С. Сети пост-NGN. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. EDN: SKBXHF.

3. Lee D., Yannakakis M. Principles and Methods of Testing Finite State Machines – A Survey // Proceedings of the IEEE. 1996. Vol. 84. Iss. 8. PP. 1090–1123. DOI: 10.1109/5.533956.

4. Зимин А. В., Ревенко Ю. П. Декомпозиция в испытаниях сетевых элементов NGN / пост-NGN // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 1. С. 493–498. EDN: EVRJUD.

5. Lee N. H., Cha S. D. Generating Test Sequences from a Set of MSCs // Computer Networks. 2003. Vol. 42. Iss. 3. PP. 405–417. DOI: 10.1016/S1389-1286(03)00250-0.

TESTING NGN AND POST-NGN NETWORKS USING PETRI NETS

Goldstein A., Zimin A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article proposes a comprehensive innovative approach to testing post-NGN networks, which today include generations after 5G (Veyond 5G). The approach involves the combination of mathematical abstractions based on finite state machines of behavior and the MSC language, probabilistic tree-like scenarios involving the Petri net apparatus.

Key words: *Beyond 5G, Network Infrastructure Testing, KAP Behavior State Machine, Cyber-Physical System*

УДК 535.92:654.022
ГРНТИ 49.44.31

ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ БРИЛЛЮЭНА В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКАХ

Н. И. Горлов, Э. В. Гармаева, Т. Н. Шайгараева

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Методы бриллюэновского четырехволнового смешения, которые связывают четыре оптических луча через бриллюэновскую нелинейность, приобрели популярность в 1980-х годах в основном благодаря своим свойствам фазового сопряжения.Интерес к четырехволновому смешению при рассеянии Бриллюэна возродился в 2000-х годах после открытия динамически реконфигурируемых решеток в оптических волокнах. На этот раз названная динамической решеткой Бриллюэна, это, по сути, акустическая волна, оптически-генерируемая процессом вынужденного рассеяния Бриллюэна между двумя волнами накачки. Акустическая волна несет когерентную информацию, закодированную лучами накачки, либо, в случае сенсорных приложений, измеряемыми параметрами зондируемого объекта. В докладе описываются основы, а также современное состояние приложений на основе динамических решеток Бриллюэна в оптических волокнах.

динамические решетки, вынужденное бриллюэновское рассеяние, двулучепреломление

После демонстрации первой реализации оптического анализатора во временной области для измерения затухания волокна было предположено, что датчики на основе стимулированного бриллюэновского рассеяния также могут быть использованы для измерения температуры и физического напряжения. Причина этого заключалась в том, что стимулированное бриллюэновское рассеяние – это процесс, для протекания которого должно выполняться строгое условие согласования фаз. Это условие обусловлено тем, что оптические фононы, участвующие в процессе стимулированного бриллюэновского рассеяния, имеют относительно большое время жизни в оптическом волокне. При этом бриллюэновский сдвиг частоты ν_B в оптическом волокне определяется акустической скоростью V, показателем преломления n и длиной волны накачки λ_pчерез соотношение:

$$\nu_B = \frac{2nV}{\lambda_p}$$

Метод обладает рядом преимуществ по сравнению с другими распределенными методами: низкое затухание в стандартном одномодовом во-

локне может обеспечить дальность измерений в несколько десятков километров. Поскольку поляризация света в одномодовом волокне меняется случайным образом по его длине, бриллюэновское взаимодействие будет меняться в зависимости от положения. Это требует применения схемы поляризационного разнесения или поляризационного скремблирования, что увеличивает время измерения. Пространственное разрешение ограничено одним метром. Это ограничение связано с тем, что спектр импульса накачки распространяется в полосе, превышающей естественный спектр усиления. Более того, коэффициент усиления Бриллюэна уменьшается при уменьшении длительности импульса накачки [1].

С помощью этой методики было продемонстрировано пространственное разрешение до 1 см. Единственным существенным недостатком предложенной схемы является ограниченный диапазон измерений - несколько десятков метров [2].

Метод динамической бриллюэновской решетки (dynamic Brillouin grating-DBG) также применим для распределенного контроля температуры и деформаций. Рассмотрим ситуацию, когда динамическая решетка Бриллюэна генерируется в волокне, поддерживающем поляризацию, с помощью процесса стимулированного рассеяния Бриллюэна, как показано на рис. 1 [3].

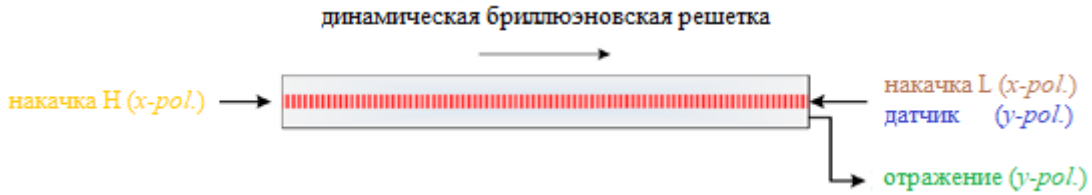


Рис. 1. Принцип работы бриллюэновской динамической решетки в волокнах с сохранением поляризации

Два встречно распространяющихся импульса накачки на оптических частотах ν_{p1} и ν_{p2}, где $\nu_{p1}-\nu_{p2}=\nu_B$, запускаются вдоль на одной оси первичной поляризации тестируемого волокна. В данном случае обе волны подбираются так, чтобы создаваемая акустическая волна обладала наибольшей амплитудой на протяжении всего чувствительного оптического волокна. С другой стороны, длительности импульсов накачки не должны быть слишком короткими, чтобы избежать уширения усиления.

После того, как узкополосная DBG была сгенерирована x-поляризованной волной накачки, запускается зондирующий импульс для считывания амплитуды y-поляризованный решетки. Общая форма отраженной волны

представляет собой когерентную сумму отраженных компонентов, генерируемых при распространении входного импульса через динамическую решетку. Таким образом, не существует ограничения полосы пропускания при использовании короткого зондирующего импульса DBG. Фактически короткий зондирующий импульс испытывает отражение, пропорциональное локальной амплитуде решетки, и его временное распределение обратного рассеяния дает карту локальной амплитуды DBG. Эта методика обеспечивает возможность локализации бриллюэновского взаимодействия в определенной координате оптического волокна.

Основные дифференциальные уравнения взаимодействия бриллюэновской динамической решетки могут быть аналитически решены, чтобы дать приближенное выражение для стационарного спектра отражения непрерывной волны [3].

$$R(\Delta\Omega_B, \Delta\Omega_{BDG}) \approx \frac{1}{4} g_B^2 I_{PumpH} I_{PumpL} L^2 \cdot \frac{(\Gamma_B/2)^2}{(\Delta\Omega_B)^2 + (\Gamma_B/2)^2} \cdot$$
$$\cdot\, sinc^2\left[\left(\frac{\Delta\Omega_{BDG} n}{c}\right) L\right] = R_0 R_{BGS}(\Delta\Omega_B) R_{BDG}(\Delta\Omega_{BDG})$$

Здесь $\Delta\Omega_B \equiv \Omega - \Omega_B$ измеряет отклонение от условия фазового синхронизма для создания акустического поля, $\Delta\Omega_{BDG} \equiv \omega_{Probe} - \omega_{PumpH} - \omega_{PumpH}(n_{slow} - n_{fast})/n$, I_{PumpH} и I_{PumpL} – интенсивности PumpH и PumpL, g_B – бриллюэновское усиление, Γ_B – скорость акустического затухания [3].

Рефлектометрия и датчики на основе бриллюэновской динамической решетки могут развиваться как в технологии волоконно-оптических, так и фотонных устройств. Сочетание высокой скорости и пространственного разрешения может оказаться полезным в приложениях высокопроизводительных волоконно-оптических датчиков, таких как мониторинг распространения механических волн и идентификация структурных повреждений. Мониторинг небольших структур и более быстрых вибраций, естественно, требует более высокого пространственного разрешения, которым обладает зондирование на основе динамической решетки Бриллюэна. Кроме того, потенциально могут быть измерены более быстрые динамические явления, такие как акустическая эмиссия. Датчики на основе бриллюэновской динамической решетки также должны быть оценены на соответствие руководящим принципам и стандартам для волоконно-оптических датчиков.

Список используемых источников

1. Lichtman E., Waarts R. G., Friesem A.A. Stimulated Brillouin scattering excited by a modulated pump wave in single-mode fibers //Lightwave Technol. 1989, **7**, 171-174.

2. Scott A. M., Ridley K. D. A review of Brillouin-enhanced four-wave mixing //IEEE J. Quantum Electron. 1989, 25, 438–459.

3. Bergman A., Yaron L., Langer T. M. Dynamic and distributed slope-assisted fiber strain sensing based on optical time-domain analysis of Brillouin dynamic gratings //J. Lightwave Technol. 2015, 33, 2611–2616.

APPLICATION OF THE DYNAMIC GRID BRILLOUIN IN FIBER-OPTIC SENSORS

Gorlov N., Garmayeva E., Shaigaraeva T.
Siberian State University of Telecommunications and Information Science

Brillouin four-wave mixing methods, which link four optical beams through Brillouin nonlinearity, gained popularity in the 1980s mainly due to their phase coupling properties. Interest in four-wave mixing in Brillouin scattering was revived in the 2000s after the discovery of dynamically reconfigurable gratings in optical fibers. This time called a dynamic Brillouin lattice, it is, in fact, an acoustic wave optically generated by the process of forced Brillouin scattering between two pumping waves. An acoustic wave carries coherent information encoded by the pump beams or, in the case of sensor applications, by the measured parameters of the object being probed. The report describes the basics, as well as the current state of applications based on dynamic Brillouin gratings in optical fibers.

Key words: *dynamic lattices, forced Brillouin scattering, birefringence*

УДК 004.273
ГРНТИ 20.15.05

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДА НА ASTRA LINUX (ЧАСТЬ 2)

В. В. Громов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе рассматривается некоторые методы перехода на операционную систему Astra Linux, разработанную коллективом открытого акционерного общества «Научно-производственное объединение Русские базовые информационные технологии» по программе импортозамещения, в средних и высших учебных заведениях Российской Федерации.

Анализируются перспективы внедрения Astra Linux для современных информационных систем в условиях импортозамещения и дефицита информационных мощностей.

системы виртуальных машин, программные системы, операционные системы

На протяжении пяти лет на кафедре ведется обучение студентов дисциплине «Архитектура Информационных систем» (далее по тексту – АИС). Дисциплина была разработана Громовым В. В. и основана на базе экспериментальных работ, проходивших в г.г. Москве и Санкт-Петербурге, в период с 1996 по 2006 год.

В указанный период времени была создана и введена в эксплуатацию Федеральная Информационная система Госавтоинспекции России (далее по тексту ФИС ГИБДД). Система создавалась один год, с 1995 по 1996 г.г., затем была опытная эксплуатация – два года с февраля 1996 по 1998 г.г.

По результатам опытно-конструкторских работ было принято решение на проведение модернизации системы с одновременным ее внедрением в одиннадцати межрегиональных центрах на территории Российской Федерации.

Глобальный эксперимент в рамках одного ведомства на территории огромной страны который затрагивал работу восьмидесяти шести регионов на тот момент.

Была закуплена техника с операционной системой и базой данных. Затем в течение двух недель были проведены курсы для сотрудников милиции по работе с новым оборудованием и администрированием операционной системы Solaris ver. 9-10. Пока техника пересекала границу, сотрудники милиции изучали неизвестную им операционную систему из семейства UNIX,

которая на тот момент была одной из наиболее востребованных на рынке комплексных решений по ведению баз данных с общей численностью записей более полумиллиарда.

К чести наших сотрудников надо отметить, что большинство из них сдало экзамен на отлично и хорошо, что повлияло на сроки запуска системы в целом. Запуск и дальнейшее обучение сотрудников милиции осуществляли специалисты ООО «Росби Информ К» совместно с Научно-исследовательским центром ГИБДД (далее по тексту – НИЦ ГИБДД). Совместный запуск с реорганизацией межрегиональных центров ГИБДД (далее по тексту – МРЦ ГИБДД) позволил успешно эксплуатировать систему и вычислительную технику на протяжении более чем 10 лет.

Качественная подготовка и планирование позволила в рамках целой страны перевести службу и сотрудников на современные методы работы.

Статья об операционной системе Astra Linux и перипетиях ее внедрения жизнь госструктур, таких как ВУЗ, школа.

В настоящее время автор и успешно сдал экзамен по следующим курсам Astra Linux:

– Astra Linux 1722 для преподавателей высших учебных заведений под названием «Базовое администрирование ОС Astra Linux Special Edition 1.7. Графические инструменты»;
– Astra Linux 1711 для преподавателей школ – «Операционная система Astra Linux Special Edition 1.7. для учителей информатики» [1].

Окончив перечисленные курсы и сдав тест ежегодно, автор рекомендует студентам обязательно закончить один из курсов по Astra Linux для их успешной адаптации в современных условиях работы на государственных предприятиях и ведомствах.

Полный переход на Astra Linux запланирован на 2025 год.

В высших учебных заведениях ситуация еще хуже и их основная проблема в том, что команды отдаются хаотично и бесперспективно, а именно за последние 2 года СПбГУТ переходил на ОС:

– Astra Linux;
– ОС Нова;
– РЕД ОС.

На взгляд автора, необходимо учитывать следующие параметры, которые могут повлиять на выбор операционной системы в качестве альтернативы для Windows:

– степень востребованности госсектора в специалистах по эксплуатации Linux систем;

– желание госсектора работать на новым программном обеспечении Российского производства по программе импортозамещения.

В настоящее время в СПбГУТ замечено несколько лабораторий, которые оснащены операционными системами Российского производства, такими как Astra Linux и РЕД ОС.

Вопросы, которые автор поднимал в прошлом году, в предыдущей статье по Astra Linux, остались неизменными:

1. Кто будет преподавать информатику на данной операционной системе, ведь преподаватели в школах и ВУЗах в большинстве работают на Windows?

2. Что делать с установленной на компьютерах ОС Windows (удалять или нет)?

3. Как использовать компьютеры при сдаче ОГЭ и ЕГЭ, если придут ученики из других школ где нет Astra Linux?

4. Добавился вопрос для большинства преподавателей информатики: чем Astra Linux отличается от РЕД ОС [2].

Автор не уверен, что на последний вопрос большинство преподавателей информатики не смогут сказать точно, а тем более настроить систему для работы в ВУЗе или школе. Отсутствие единой политики в школах и ВУЗах ведет к сложному процессу «выравнивания среднего уровня подготовленности студента» при работе по программе импортозамещения, что приведет к сложностям адаптации молодых специалистов при работе на российских предприятиях.

Основное отличие Astra Linux и РЕД ОС заключается не только в основном дистрибутиве Debian и CentOS соответственно, но и самое главное – по уровню защищенности и требований ФСТЭК.

В сентябре 2025 года несколько аудиторий СПбГУТ было оснащено новыми компьютерами с РЕД ОС, на которых с не особым желанием и большим испугом пытались работать наши студенты первокурсники.

Непонимание, страх перед неизвестным и растерянность – основные чувства, которые демонстрируют на третьем и на первом курсе при знакомстве с Linux системами. Отсутствие знаний, предвзятое отношение к Linux и неделание читать литературу – основные причины замедления процесса обучения по программе импортозамещения.

Отсутствует программа внедрения Linux систем в жизнь школ и ВУЗов, соответственно, это влияет на уровень подготовки специалистов в целом.

Перевод всех школ на ОС Astra Linux – болезненный процесс для учителей, школьников и администрации школ. По непроверенным сведениям, полученным автором от молодых специалистов, в большинстве случаев перевод школы осуществляется путем установки на сервер под управлением Windows виртуальной машины с Astra Linux. Система установлена в школе – «галочка» стоит.

Отсутствие опытных учителей, знающих Linux (в нашем случае – Astra Linux и РЕД ОС), закладывает большую бомбу под институты, потому что в ВУЗах придется переучивать бывших школьников с неправильного понимания концепции ОС Linux на правильное, а мы знаем, что переучивать сложнее, чем выучить заново с нуля. Вынужден повторить данную мысль потому, что полемика в стенах ВУЗа отсутствует, а существует только командная система на эксплуатацию средств вычислительной техники для обучения студентов.

Необходимо напомнить, что не только основные дистрибутивы, на базе которых были созданы российские операционные системы различны, но и формально различно их назначение, которое нужно рассматривать с перспективой применения в госсекторе, а именно:

– «РЕД СОФТ» соответствует «Требованиям по безопасности информации, устанавливающим уровни доверия к средствам технической защиты информации и средствам обеспечения безопасности информационных технологий» (Приказ ФСТЭК России от 30 июля 2018 г. №131) – по 4 уровню доверия [3];
– также РЕД ОС соответствует «Требованиям безопасности информации к операционным системам» (Приказ ФСТЭК России от 19 августа 2016 г., №119), «Профиль защиты ОС типа «А» четвертого класса защиты. ИТ.ОС.А4.ПЗ» (ФСТЭК России, 2017) [4];
– в то время как Astra Linux соответствует требованиям документов: Требования доверия (1), Требования доверия (2), Требования к ОС, Профиль защиты ОС (А первого класса защиты. ИТ.ОС.А1.ПЗ), Профиль защиты ОС (А второго класса защиты. ИТ.ОС.А2.ПЗ), Требования к средствам контейнеризации (1), Требования к СУБД (1), Требования к средствам виртуализации (1) [4].

Данные отличия показывают, что применение в обучающем процессе РЕД ОС позволит расширить знания студентов в области применения Linux систем в основном для коммерческих проектов, в то время как Astra Linux нацелен на предприятия и учреждения госсектора.

С учетом преподавания автора в школах и ВУЗах, имеется предположение о необходимости создания федеральной программы для школ и студентов по обучению навыкам работы с российскими операционными системами для подготовки современных специалистов для нужд предприятий и учреждений госсектора.

Рис. 1. Занятия в школе с использованием Astra Linux

Необходимо создать целенаправленную программу по внедрению ОС Astra Linux, и текстового процессора LibreOffice взамен основных офисных продуктов, являющиеся аналогами Microsoft Office и операционной системы Windows [5].

Следует создать систему стандартизации шрифтов, которые созданы для ОС Astra Linux с возможностью замены шрифта Times New Roman Cyr на шрифт Astra PT. Научить школьников и студентов правильно создавать документы с последующим использованием последнего на предприятиях и учреждениях госсектора.

Есть два-три года для создания данных программ и обретения кибернезависимости предприятий и учреждений госсектора, в противном случае отечественная программа импортозамещения не заработает в полную силу.

Список используемых источников

1. Сайт корпорации “Группа Астра» URL: https://astragroup.ru/training/authorized-training/section.php?SECTION_ID=1052 (дата обращения 30.03.2025).

2. Громов В. В. Трудности перехода на Astra Linux // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2024. С. 632–636.

3. Сайт корпорации «РЕД ОС». URL: https://redos.red-soft.ru/about/news/novosti/red-os-pervaya-operatsionnaya-sistema-sertifitsirovannaya-po-trebovaniyam-k-urovnyam-doveriya-fstek-/ (дата обращения 30.03.2025).

4. Сайт ФСТЭК. URL: https://reestr.fstec.ru/reg3 (дата обращения 30.03.2025).

5. Сайт корпорации LibreOffice. URL: https://www.ru.libreoffice.org/ (дата обращения 01.03.2025).

FEATURES OF THE TRANSITION TO ASTRA LINUX (PART 2)

Gromov V.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The report discusses the methodology for teaching students using virtual machine systems when performing educational tasks in the discipline "Information Systems Architecture" at the St. Petersburg State University of Telecommunications. prof. M.A. Bonch-Bruevich.

The report discusses the methodology of teaching students using virtual machine systems when performing educational assignments in the discipline “Architecture of Information Systems” at the St. Petersburg State University of Telecommunications. prof. M.A. Bonch-Bruevich. The presented methodology is based on experience in operating UNIX/Linux from 1996 to 2013. The prospects for developing skills in creating information systems for students in the context of modern development of computer technology using short programming code are analyzed.

Key words: *Virtual machine systems, software systems, operating systems*

УДК 654.739
ГРНТИ 49.33.29

ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ АНОМАЛИЙ В РЕСТРУКТУРИЗИРОВАННОМ ТРАФИКЕ

С. В. Дворников, И. М. Жданова, Д. О. Федосеев

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Поиск научно-методических подходов, обеспечивающих эффективное проведение анализа трафика, является актуальной задачей в области информационной безопасности. Авторами предлагается способ выявления аномалий по результатам обработки реструктуризированного трафика демодулированных символов.

демодулированный поток, кратномасштабное преобразование трафика, выявление аномалий трафика

Появление аномалий в трафике в виде комбинаций символов, несвойственных структуре обрабатываемого потока, является негативным фактором. Для их своевременного обнаружения на практике активно применяют методы корреляционного анализа [1]. Вместе с тем аналитический аппарат такого анализа, основанный, как правило, на расчете коэффициента корреляции Пирсона [2], не позволяет определить положение возникающих аномалий на длительности потока. Поэтому различные факторы, приведшие к возникновению аномалии, например, в начале и в конце анализируемой последовательности, будут отнесены к одному и тому же деструктивному процессу, т.е. к неверному решению.

В интересах разрешения подобных ситуаций разработан способ, основанный на переформатировании входного потока таким образом, чтобы новые его формы представления в результате корреляционной обработки давали разные значения для различной локализации аномалий с одинаковой структурой в пределах входной реализации.

В качестве аппарата переформатирования предложено использовать кратномасштабное преобразование входных реализаций на основе рядов вейвлетов непрерывного времени с дискретным шагом перестройки [3]. Тогда результат кратномасштабного преобразования, представляющий собой трехмерную матрицу дискретных отсчетов, можно записать в виде следующего выражения [4]

$$W_k(n) = \frac{1}{\sqrt{k}} \sum_{i=a}^{b} z(x_i) \psi\left(\frac{x_i - n}{k}\right), \quad (1)$$

где n и k – параметры временного сдвига и масштабирования; a до b – граничные значения интервала обработки; $\psi(*)$ – порождающая вейвлет-функция; $z(x_i)$ – обрабатываемый процесс, определяемый дискретными отчетами x_i.

Для раскрытия сущности такого преобразования, на рис. 1 и 2 представлены матрицы, рассчитанные в соответствии с (1), обрабатываемых потоков z1 = {1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0}; z2 = {1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0}.

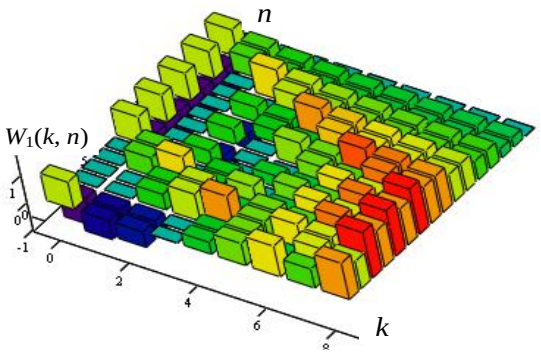


Рис. 1. Матрица кратномасштабного преобразования последовательности z_1

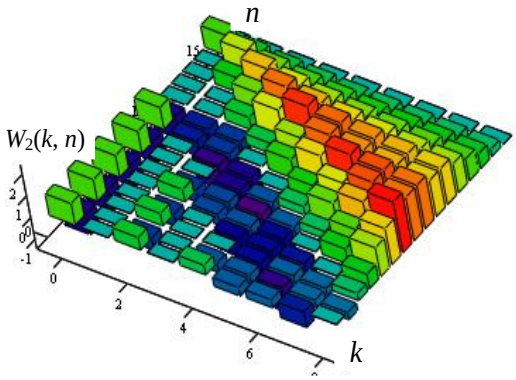


Рис. 2. Матрица кратномасштабного преобразования последовательности z_2

Исследуемые последовательности z_1 и z_2 содержат одинаковую по своей структуре аномалию. Однако в последовательности z_1 аномалия находится в первой ее половине, а в последовательности z_2 – во второй ее части. Различия положения аномалий обусловлены различными факторами, отличающиеся в данном случае временем воздействия. Вместе с тем, если в качестве эталонной последовательности определить последовательность вида z_0 = {1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0}, то можно рассчитать не только статистические параметры последовательностей z_1 и z_2, но и их взаимные корреляции с эталонной структурой z_0.

Рассчитанные параметры представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Значение статистических параметров, характеризующих поток z_0, z_1 и z_2

Параметр	E[*]	D[*]	V	A_S	A_A	r_{z1z0}	r_{z2z0}
z_0	0,5	0,25	1	3	7	0,775	0,775
z_1	0,625	0,234	0,882	3,357	6,232	0,775	
z_2	0,625	0,234	0,882	3,357	6,232		0,775

В табл. 1 представлены следующие параметры: E[*] – среднее значение; D[*] – дисперсия; V – коэффициент вариации; A_s – коэффициент асимметрии; A_A – коэффициент эксцесса; r_{z1z0} – коэффициент корреляции Пирсона.

Коэффициент корреляции Пирсона характеризует близость двух трафиков (текущего $f(x)$ и контрольного $g(x)$) [5, 6]:

$$r_{fg} = \frac{\sum_{i=\ 1}^{N}(x_i - \boldsymbol{E}[f(x)])(x_i - \boldsymbol{E}[g(x)])}{\sqrt{\sum_{i=\ 1}^{N}(x_i - \boldsymbol{E}[f(x)])^2 \sum_{i=\ 1}^{N}(x_i - \boldsymbol{E}[g(x)])^2}} \qquad (2)$$

Далее, в соответствии с разработанным способом предлагается вместо последовательностей z_1 и z_2 использовать коэффициенты матриц их кратномасштабных преобразований. С этой целью для переформатирования первоначально были отобраны значения матриц $W_1(k, n)$ и $W_2(k, n)$, усредненные по параметру временных сдвигов n, которые затем использовались для расчета значений коэффициентов корреляции Пирсона.

В табл. 2 демонстрируются значения коэффициента Пирсона между выборками из переформатированных величин, обеспечивших различия по r_{fg} не менее чем 0,75.

Анализ результатов (табл. 2) показал, что наибольшие различия в расчетных значениях коэффициентов корреляции Пирсона обеспечивает выбор в качестве переформатированных величин, коэффициентов матриц кратномасштабных преобразований, равных n = 5.

ТАБЛИЦА 2. Значение коэффициента Пирсона между выборками, составленными из переформатированных величин потоков z_0, z_1 и z_2

n	Порядковый номер в матрице					
	1	3	5	7	9	11
r_{s1s0}	0,722	0,635	0,667	0,634	0,715	0,65
r_{s0s2}	0,626	0,612	0,548	0,624	0,513	1

Проведенное исследование показало, что различия в абсолютных значениях коэффициентов Пирсона переформатированных потоков, составленных их коэффициентов матриц кратномасштабных преобразований входных реализаций, открывают возможность идентифицировать локацию возникающих в них аномалий, вызвавших изменения структуры. При этом следует отметить, что методы статистического анализа не позволяют выявить указанные различия.

Практическая значимость полученных результатов, по мнению авторов, состоит в обосновании выбора инструмента анализа для исследования тонкой структуры потоков, содержащих аномалии. Направлением дальнейших исследований видится применение полученных результатов в решении задач обнаружения аномалий изображений, рассмотренных в [7].

Список используемых источников

1. Лизнев, Д. С. Обзор методов прогнозирования сетевых аномалий / Д. С. Лизнев // Вестник СибГУТИ. 2023. Т. 17. № 2. С. 44-50.

2. Поздняк, И. С. Выявление DOS-атак с помощью анализа статистических характеристик трафика // Инфокоммуникационные технологии. 2021. Т. 19. № 1. С. 73-80.

3. Васильева, Д. В., Дворников, С. С., Толстуха, Ю. Е. и др. Формирование векторов признаков для систем видеона-блюдения // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2023. № 4. С. 62-68.

4. Дворников, С. В., Степынин, Д. В., Дворников, А. С., Букарева, А. П. Формирование векторов признаков сигналов из вейвлет-коэффициентов их фреймовых преобразований // Информационные технологии. 2013. № 5. С. 46-49.

5. Bol, Georg. Deskriptive Statistik. – Oldenbourg: Oldenburg Verlag, 2004.

6. Dvornikov, S. Jr. Detection Range Estimation of Small UAVs at a Given Probability of Their Identification / S. Jr. Dvornikov, S. Dvornikov // Proceedings of Telecommunication Universities. 2023. Vol. 9. № 4. P. 6-13.

7. Васильева Д. В., Дворников С. В., Якушенко С. А., Дворников С. С. Автоматизация процедур обнаружения лесных пожаров по результатам обработки видео // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России», 2023. № 4. С. 47-58.

AN APPROACH TO DETECTING ANOMALIES IN RESTRUCTURED TRAFFIC

Dvornikov S., Zhdanova I., Fedoseev D.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The search for scientific and methodological approaches that ensure effective traffic analysis is an urgent task in the field of information security. The authors propose a method for detecting anomalies based on the results of processing restructured traffic of demodulated symbols.

Key words: *demodulated flow, multi-scale traffic conversion, detection of traffic anomalies*

УДК 004.057.4
ГРНТИ 49.38.49

ШЕСТЬ НУЛЕВЫХ БАЙТ В КАДРАХ ETHERNET: ОТКУДА И ЗАЧЕМ?

Р. А. Дунайцев, Е. В. Кузьмина, А. В. Светова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

При перехвате TCP/IP трафика, передаваемого при подключении к сети посредством Ethernet, встречаются кадры, содержащие в конце шесть нулевых байт. Различные анализаторы трафика (т.н. снифферы) интерпретируют их по-разному: как extra data, padding, trailer или unknown data. Какой протокол и зачем добавляет эти байты? Почему в одних кадрах они есть, а в других похожих – отсутствуют? Ответу на эти вопросы и посвящено данное исследование.

Ethernet, TCP/IP, padding, анализатор трафика, сниффер.

При перехвате TCP/IP трафика, передаваемого при подключении к сети посредством Ethernet, встречаются кадры, содержащие в конце шесть нулевых байт. В качестве такого примера на рис. 1 представлен трафик, перехваченный при загрузке файла с логотипом СПбГУТ с официального сайта университета: http://sut.ru/new_site/theme/images/logo2.svg. Кадры с номерами 5 и 14 содержат в конце шесть нулевых байт, которые новые версии Wireshark определяют как padding, а более ранние версии интерпретировали как trailer. Другие анализаторы трафика также различаются в трактовке этих байтов (см. таблицу 1).

ТАБЛИЦА 1. Интерпретация шести нулевых байт в различных анализаторах трафика

Программа	Нулевые байты в конце кадра – это…
Colasoft Capsa Free 11.1.2	Extra Data
LiveAction Omnipeek 25.1.1	<нет информации>
Microsoft Network Monitor 3.4	Unknown Data
NETSCOUT ClearSight Analyzer 9.7	Padding
TamoSoft CommView 7.0	Padding
Wireshark 4.4.6	Padding (в ранних версиях – Trailer)

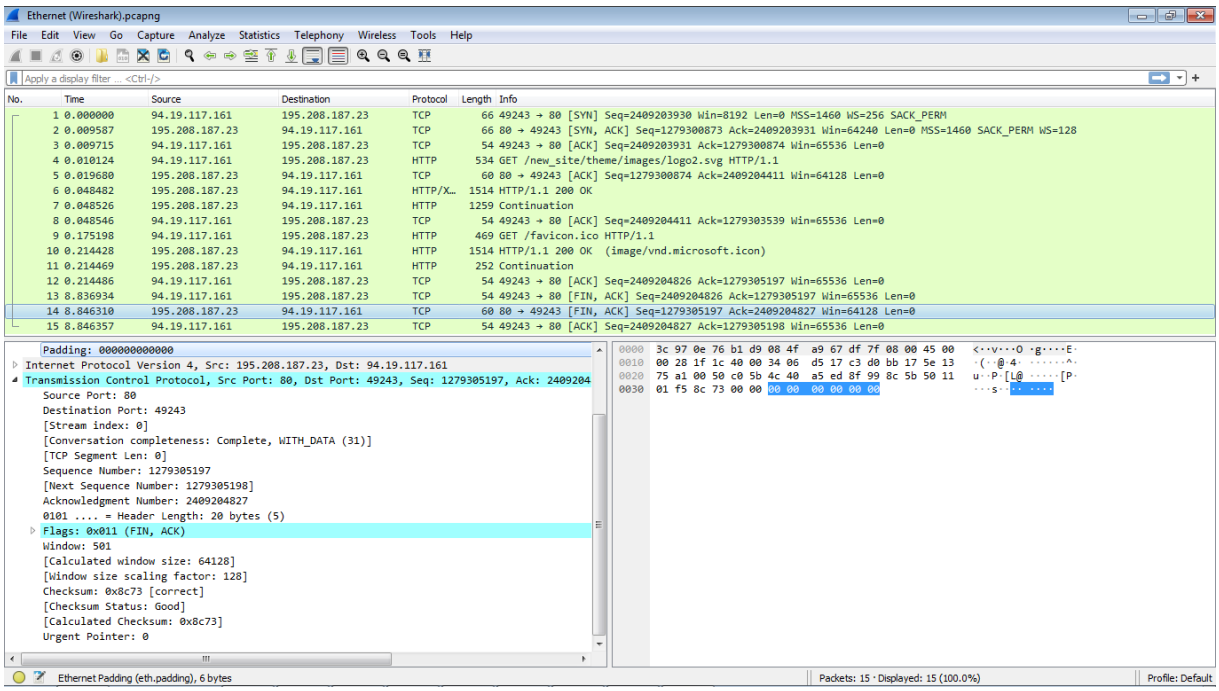


Рис. 1. TCP/IP трафик, передаваемый при подключении к сети посредством Ethernet

Итак, как следует из таблицы 1, половина анализаторов трафика рассматривает эти байты как некий padding. Известно, что разные протоколы используют padding (т.е. заполнение незначащей информацией) с различными целями: для выравнивания по определенной границе, для дополнения до минимального размера и т.п. Но какой протокол и для чего добавил эти байты? И почему в других кадрах (например, в соседних с номерами 13 и 15) их нет? Чтобы это выяснить, проведем небольшой «следственный эксперимент»: рассчитаем контрольные суммы протоколов IP и TCP, полагая, что шесть нулевых байт в конце кадра под номером 14 а) не принадлежат или б) принадлежат этим протоколам, а затем сравним полученные результаты со значениями соответствующих контрольных сумм, представленных в перехваченном кадре. Таким образом станет ясно, считает ли какой-либо из указанных протоколов эти байты «своими».

Алгоритм расчета контрольной суммы Интернет (Internet checksum), используемый в IPv4, ICMP, UDP и TCP, описан в [1]. В частности, перед отправкой выполняется следующая последовательность действий:

– 16-битное поле контрольной суммы заполняется нулями;
– все байты объединяются попарно, образуя 16-битные числа (слова);
– эти 16-битные числа складываются по модулю 0xFFFF;
– если информация, по которой рассчитывается контрольная сумма, имеет длину, не кратную 16 битам, то ее длина увеличивается до кратной 16 за счет добавления справа нулевых битов заполнения. Подобные биты заполнения не передаются и служат лишь для вычисления контрольной суммы;

– полученное в результате сложения 16-битное число инвертируется (побитовый оператор Not) и записывается в поле контрольной суммы.

В свою очередь, для проверки целостности на стороне получателя выполняется следующая последовательность действий:

– все принятые байты, включая значение в поле контрольной суммы, объединяются попарно, образуя 16-битные числа, как описано выше;
– эти 16-битные числа складываются по модулю 0xFFFF;
– если в итоге результат сложения оказывается равным 0xFFFF, проверка считается успешной.

Рассчитаем контрольную сумму IP-заголовка в кадре с номером 14 (рис. 2), не забыв принять поле контрольной суммы (Header Checksum), равным 0x0000. Без учета шести нулевых байт получаем: 0x4500 + 0x0028 + 0x1F1C + 0x4000 + 0x3406 + 0x0000 + 0xC3D0 + 0xBB17 + 0x5E13 + 0x75A1 ≡ 0x2AE8 (mod 0xFFFF). Инвертируя полученный результат, находим значение контрольной суммы 0xD517, которое совпадает с имеющимся в рассматриваемом IP-заголовке. Действительно, если бы протокол IP считал исследуемые шесть нулевых байт «своими», то это бы изменило общую длину пакета (Total Length) с нынешних 40 байт (0x0028), из которых 20 байт составляет IP-заголовок и еще 20 байт в качестве передаваемых данных занимает TCP-заголовок, до 46 байт (0x002E). Однако это не соответствует действительности (см. рис. 2). Следовательно, протокол IP можно вычеркнуть из «списка подозреваемых».

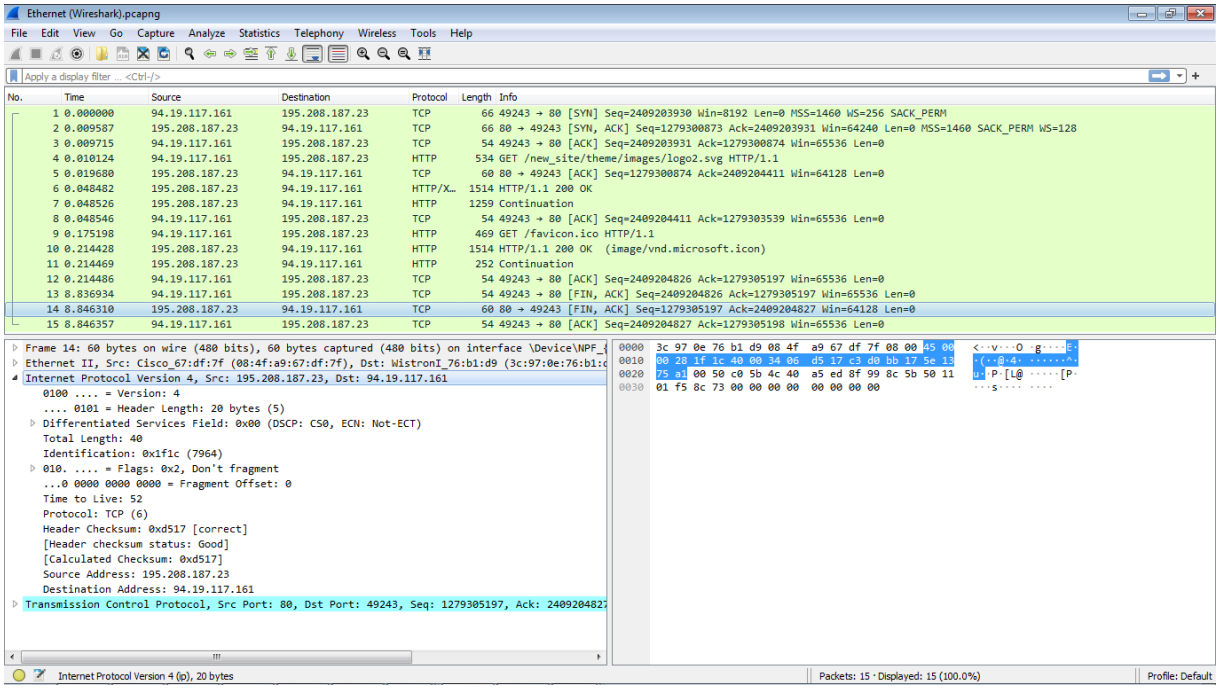


Рис. 2. IP-заголовок и относящиеся к нему байты

Аналогично рассчитаем контрольную сумму TCP-сегмента в кадре с номером 14 (рис. 3), не забыв принять поле контрольной суммы (Checksum) равным 0x0000. Кроме того, следует помнить, что в расчете контрольной суммы TCP учитывается не только TCP-заголовок, но и данные, если таковые передаются внутри TCP-сегмента, а также псевдозаголовок (pseudo header) [2], который включает в себя IP-адрес отправителя (0xC3D0BB17), IP-адрес получателя (0x5E1375A1), один нулевой байт (0x00), идентификатор протокола TCP (0x06) и общую длину TCP-сегмента (0x14). При этом псевдозаголовок используется лишь в процессе вычислений (как при передаче, так и при приеме TCP-сегмента) и отдельно не пересылается.

Без учета шести нулевых байт получаем: 0xC3D0 + 0xBB17 + 0x5E13 + 0x75A1 + 0x0006 + 0x0014 + 0x0050 + 0xC05B + 0x4C40 + 0xA5ED + 0x8F99 + 0x8C5B + 0x5011 + 0x01F5 + 0x0000 + 0x0000 ≡ 0x738C (mod 0xFFFF). Инвертируя полученный результат, находим значение контрольной суммы 0x8C73, которое совпадает с имеющимся в рассматриваемом TCP-сегменте. Если бы исследуемые шесть нулевых байт входили в состав TCP-сегмента, то их добавление при суммировании итоговый результат, конечно, не изменило бы, но повлияло бы на общую длину TCP-сегмента в псевдозаголовке, изменив ее с нынешних 20 байт (0x14) до 26 байт (0x1A). Но это вновь не соответствует действительности (см. рис. 3) и, таким образом, протокол TCP также можно исключить из «списка подозреваемых».

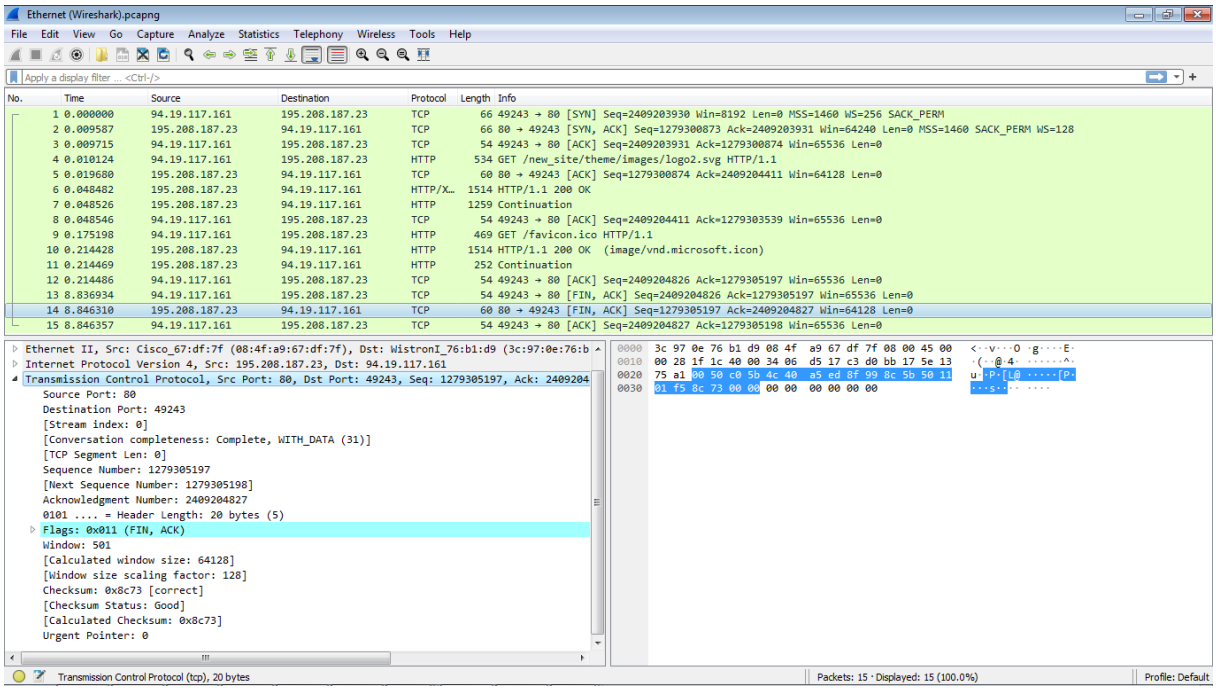


Рис. 3. TCP-сегмент и относящиеся к нему байты

На основе проведенных расчетов методом исключения приходим к выводу, что «виновником» появления шести нулевых байт в конце кадра является Ethernet. И тут уместно вспомнить, что минимальный размер кадра в сети стандарта IEEE 802.3 составляет 64 байта [3]. Иными словами, за вычетом Ethernet-заголовка длиной 14 байт и трейлера с контрольной последовательностью кадра (Frame Check Sequence, FCS) длиной 4 байта минимальная длина раздела данных внутри кадра составляет 46 байт. Как правило, анализаторы трафика не показывают поле FCS, сокращая тем самым видимый размер кадра до 60 байт. Таким образом, кадры 5 и 14 содержат в конце шесть нулевых байт в виде необходимого padding, поскольку внутри передаются только заголовки TCP/IP, составляющие в сумме всего лишь 40 байт (вместо необходимых 46). Но тогда почему подобный padding отсутствует в кадрах 3, 8, 12, 13 и 15 (см. рис. 1–3)?

Во-первых, следует отметить, что не все кадры небольшого размера требуют добавления нулевых байт в качестве padding. Например, в кадрах 1 и 2 за счет опций протокола TCP содержится достаточно байт данных, чтобы соблюсти минимальный размер кадра. Во-вторых, стоит обратить внимание на направление передачи: кадры, в которых присутствуют шесть нулевых байт, передавались в сторону клиента; кадры, имеющие размер меньше минимального, но при этом без какого-либо padding, передавались от клиента. Разумеется, стандарт IEEE 802.3 распространяется и на них тоже, вот только анализатор трафика перехватывает эти кадры до того, как сетевая карта (Network Interface Card, NIC) успевает добавить нулевые байты с целью обеспечения необходимого размера [4]. Само же требование по обеспечению размера кадра не менее 64 байт связано с необходимостью гарантированного обнаружения коллизий в сетях Ethernet, построенных на базе коаксиального кабеля или хабов [3, 5]. И хотя с тех пор технология Ethernet шагнула далеко вперед, оставив коллизии в прошлом, требование относительно минимального размера кадра в целях обеспечения обратной совместимости по-прежнему сохраняется. Тем не менее, учитывая широкое использование опций протокола TCP (в частности, опции Timestamps длиной 10 байт) [6] и активное замещение проводных соединений Ethernet беспроводными сетями Wi-Fi [7], при перехвате и анализе трафика мы не так часто имеем возможность наблюдать работу данного механизма.

Список используемых источников

1. RFC 1071: Computing the Internet Checksum. URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1071 (дата обращения 31.03.2025).
2. RFC 793: Transmission Control Protocol. URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc793 (дата обращения 31.03.2025).
3. Charles E. Spurgeon, Joann Zimmerman. Ethernet: The Definitive Guide, Second Edition. O'Reilly Media, Inc., 2014. 508 p.
4. What are the 0 bytes at the end of an Ethernet frame in Wireshark? URL: https://stackoverflow.com/questions/23998466/what-are-the-0-bytes-at-the-end-of-an-ethernet-frame-in-wireshark (дата обращения 31.03.2025).
5. Демуськов А. Б., Маслович С. Ф. Компьютерные сети: технологии локальных сетей. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины. 2012. 44 с.
6. Герасимова Я. А., Корженевский О. В., Дунайцев Р. А. Исследование использования опций протокола TCP в различных операционных системах // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2022): Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей. Сборник лучших докладов. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 232–236. EDN PDPQXL.
7. Антоненко А. Д., Дунайцев Р. А. Исследование работы Wi-Fi в студенческих общежитиях в свете пандемии и дистанционного обучения // Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Том 9. № 1. С. 13–25. DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-1-13-25.

SIX ZERO BYTES IN ETHERNET FRAMES: WHICH PROTOCOL ADDS THEM AND WHY?

Dunaytsev R., Kuzmina E., Svetova A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

When capturing TCP/IP traffic transmitted while accessing a network via Ethernet, frames containing six null bytes are observed. Various protocol analyzers (so-called sniffers) interpret them differently: as extra data, padding, trailer or unknown data. Which protocol adds these bytes and why? Why are they present in some frames and absent in other similar ones? This study is devoted to answering these questions.

Key words: *Ethernet, TCP/IP, padding, protocol analyzer, sniffer*

УДК 535.135
ГРНТИ 29.31.15

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ И ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОПТИКИ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «OptiFDTD» В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

А. С. Дюбов, Е. В. Полякова, Б. К. Резников

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Современной тенденции развития информационных технологий отвечают оптоэлектронные системы передачи, обработки и хранения информации, а также устройства, реализующих те или иные виды интегральных преобразований в реальном времени. Актуальность программного продукта «OptiFDTD» заключена в возможности проектировать, анализировать и тестировать современные оптические компоненты, используемые для распространения, рассеяния, отражения, дифракции, поляризации световых потоков и нелинейных фотонных явлений.

программа «OptiFDTD», численный метод FDTD, моделирование, фотонные интегральные компоненты

«OptiFDTD» – это программа, которая позволяет производить проектирование, анализ и тестирование оптических компонентов и устройств в трехмерном пространстве. В основе программы лежит метод конечных разностей во временной области (Finite Difference Time Domain, FDTD), который представляет из себя численный алгоритм решения уравнений Максвелла с точностью второго порядка [1].

Численный метод FDTD имеет очевидные достоинства:

– позволяет получить результат для широкого спектра длин волн за один расчет. Это удобно при решении задач, в которых не известны резонансные частоты и в случае моделирования широкополосных сигналов;
– позволяет создавать анимированные изображения распространения волны в моделируемом объеме;
– удобен при задании анизотропных, дисперсных и нелинейных сред;
– позволяет непосредственно моделировать краевые эффекты и эффекты экранирования, поля внутри и вне экрана могут быть рассчитаны.

Метод FDTD стал основным для моделирования оптических приложений, требующих решения задач в оптическом диапазоне: оптоэлектроника,

интегрированная оптика, нанолитография, плазмоника и др. Пример схемы с фотонными интегральными компонентами показан на рис. 1 [2].

Применительно к дисциплинам, в которых изучается оптоэлектроника и интегральная оптика, приложение «OptiFDTD» позволяет:

– конструировать лазеры, светодиоды, фотонно-кристаллические устройства, оптические фильтры, оптические резонаторы, дифракционные оптические элементы, поверхности для плазмонного резонанса и наночастицы;
– моделировать процессы распространения света в волноводах, эффекты отражения, преломления и рассеяния, процессы взаимодействия света с материалами и структурами (дифракция, интерференция, нелинейные оптические эффекты);
– исследовать распространение света в интегральных оптических компонентах, волноводах, фотонных кристаллах и резонаторах;
– рассматривать различные оптические материалы, включая нелинейные, анизотропные и дисперсионные среды;
– визуализировать процессы в двумерном (2D) и трехмерном (3D) графическом пользовательском интерфейсе.

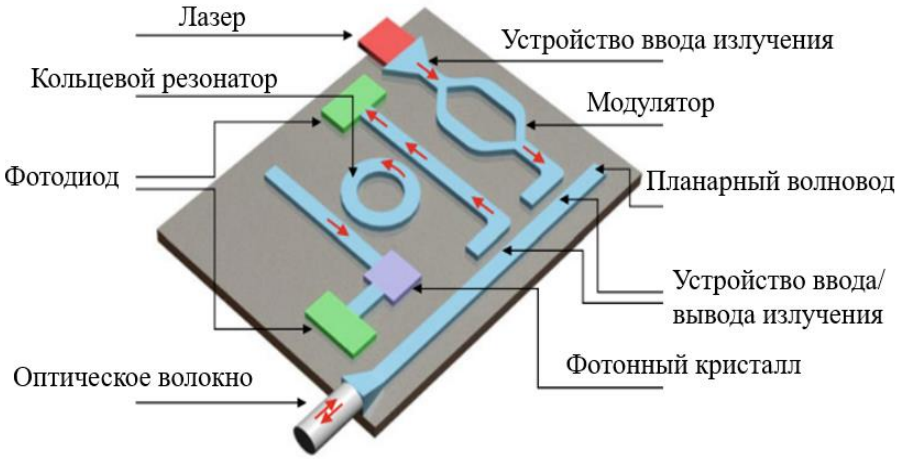


Рис. 1. Фотонные интегральные компоненты для проектирования в приложение «OptiFDTD»

Программа «OptiFDTD» поставляется в виде четырех основных блоков:

– дизайнер макетов, определяющий структуру и условия моделирования;
– конструктор профилей, используемый для определения материалов и профилей, используемых в моделировании;
– симулятор, осуществляющий функцию загрузки файла конструктора и выполняющий моделирование. Симулятор запускается из конструктора макетов.

– анализатор, используемый для просмотра результатов и выполнения постобработки. Анализатор запускается после завершения модулирования в симуляторе [1].

1. Пример использования программы «OptiFDTD» для моделирования и изучения процессов распространения оптического излучения в планарном оптическом волноводе. В проекте рекомендовано использовать материалы [3]:

– плавленый кварц (SiO2) с показателем преломления – 1,48;
– ниобат лития (LiNbO3) с показателем преломления – 2,29;
– стекло (Corning 7059) с показателем преломления – 1,62;
– арсенид галлия (GaAs) с показателем преломления – 3,57.

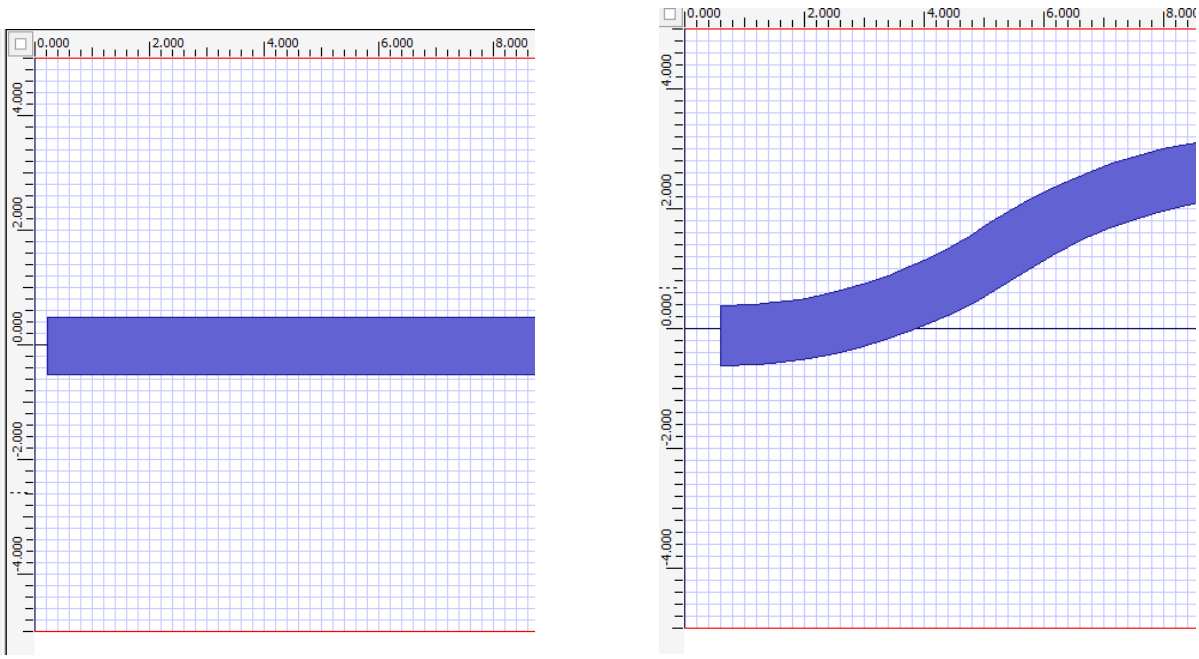
С геометрическими размерами волноводов:

– LiNbO3 (ширина – 2,0 мкм, толщина – 1,0 мкм);
– GaAs (ширина – 1,0 мкм, толщина – 1,0 мкм).

Последовательность выполняемых задач:

1.1. Создать по одной симуляции с прямоугольным (Linear waveguide) и изогнутым (Curved waveguide) волноводами со стандартными настройками источника излучения излучения (рис. 2);

1.2. Изменить в настройках источника излучения параметры и запустить симуляции, в которых будет большее число шагов для определения скорости распространения сигнала.



а б

Рис. 2. Прямоугольные волноводы. а – Linear waveguide, б – Curved waveguide

2. Пример использования программы «OptiFDTD» для моделирования и изучения процессов распространения оптического излучения в планарном оптическом разветвителе. В проекте рекомендовано использовать материалы [3]:

– кремний (Si) с показателем преломления – 3,42;
– плавленый кварц (SiO_2) с показателем преломления – 1,48;
– нитрид кремния (Si_3N_4) с показателем преломления – 2,05;
– полимер (Pol) с показателем преломления – 1,4.

С геометрическими размерами волноводов:

– Si_3N_4 (ширина – 1,0 мкм, толщина – 0,5 мкм);
– Si (ширина – 1 мкм, толщина 0,5 мкм).

3. Пример использования программы «OptiFDTD» для моделирования и изучения процессов распространения оптического излучения в планарном модулятор Маха-Цендера (Mach-Zehnder modulator, MZM) (рис.3). В проекте рекомендовано использовать материалы:

– кремний (Si) с показателем преломления – 3,42;
– плавленый кварц (SiO_2) с показателем преломления – 1,48;
– ниобат лития ($LiNbO_3$) с показателем преломления – 2,29.

Распределение показателей преломления в структуре MZM при заданных значениях показано на рис. 4.

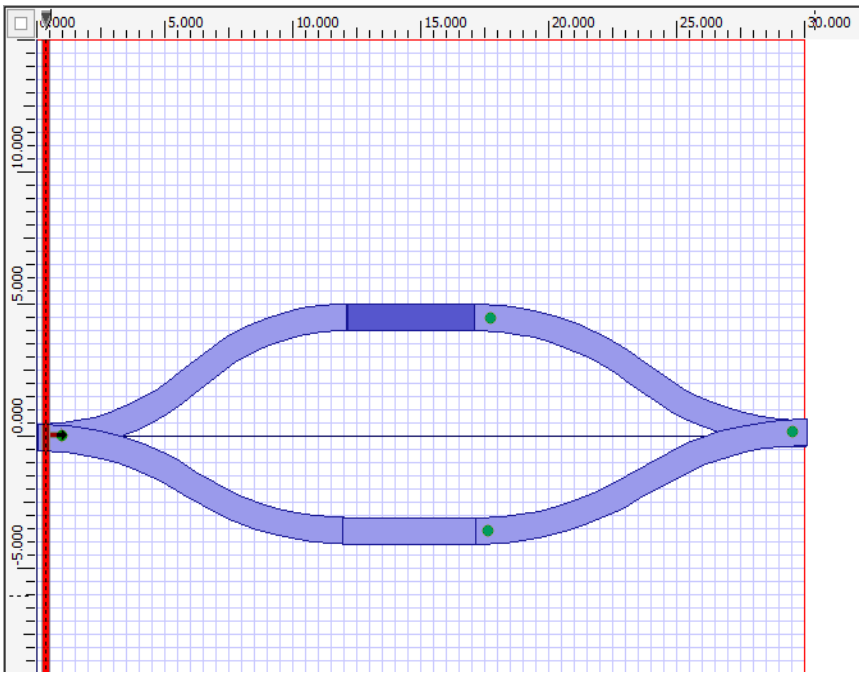


Рис. 3. Конструкция MZM на основе интерферометра Маха-Цендера, построенная в программе OptiFDTD

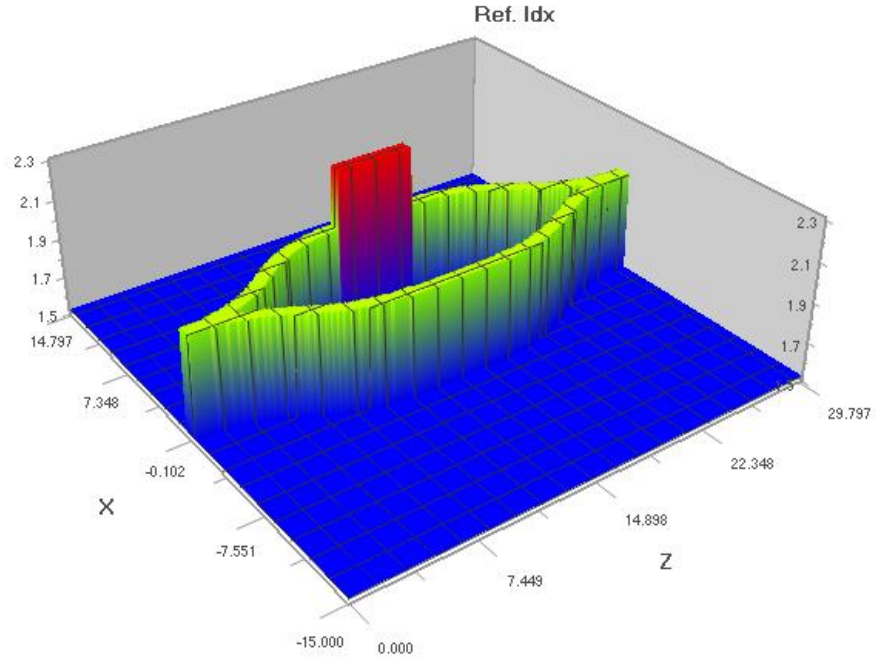


Рис. 4. Распределение показателя преломления в структуре MZM

4. Пример использования программы «OptiFDTD» для моделирования и изучения процессов распространения оптического излучения в планарном кольцевом резонаторе. В проекте рекомендовано использовать материалы [3]:

– кремний (Si) с показателем преломления – 3,42
– плавленый кварц (SiO_2) с показателем преломления – 1,48
– нитрид кремния (Si_3N_4) с показателем преломления – 2,05
– полимер (Pol) с показателем преломления – 1,4
– с геометрическими размерами волноводов:
– Si_3N_4 (ширина – 1,0 мкм, толщина – 0,5 мкм)
– Si (ширина – 1 мкм, толщина 0,5 мкм)

Список используемых источников

1. OptiFDTD Overview. URL: https://optiwave.com/optifdtd-overview/ (дата обращения 10.03.2024).

2. Овчинникова Е. В., Шмачилин П. А., Кондратьева С. Г., Гаджиев Э. В., Павлов С.В. Применение метода конечных разностей во временной области для расчета направленных свойств двумерных излучающих структур // Научная статья: Труды МАИ. 2024 № 137. С. 34.

3. Жукова Л. В., Корсаков А. С., Врублевский Д. С.; под науч. ред. Шульгина Б. Материалы микро- и оптоэлектроники: кристаллы и световоды: учебник для вузов /– Москва: Издательство Юрайт, 2025. 279 с.

MODELING OF OPTOELECTRONIC AND INTEGRATED OPTICAL DEVICES BASED ON «OPTIFDTD» SOFTWARE IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Dubov A., Polyakova E., Reznikov B.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Optoelectronic systems for transmitting, processing and storing information, as well as devices that implement certain types of integrated transformations in real time, meet the current trend in development of information technologies. The relevance of the «OptiFDTD» software product lies in the ability to design, analyze and test modern optical components used for propagation, scattering, reflection, diffraction, polarization of light streams and nonlinear photonic phenomena.

Key words: *«OptiFDTD» program, FDTD numerical method, modeling, photonic integral components*

УДК 656.025
ГРНТИ 73.47.01

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ РАДИОКАНАЛА

О. Г. Евдокимова, В. В. Шматченко

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

В статье кратко описана специфика движения транспортного средства на магнитном подвесе. Рассмотрена функциональная модель системы интервального регулирования на основе концепции подвижных блок-участков с радиоканалами, где по координате подвижной единицы, идущей впереди по радиоканалу, передается информация о текущем значении этой координаты. Дополнительная передача по радиоканалу информации о текущей величине тормозного пути обеспечивает возможность в автоматическом режиме уменьшать интервал между транспортными средствами до нуля. Сформулированы основные достоинства системы магнитолевитационного транспорта с подвижными блок-участками.

модель, магнитолевитационный транспорт, интервальное регулирования движения, радиоканал

Развитие транспортной системы страны, повышение эффективности транспортировочных возможностей [1] неразрывно связано с развитием и применением новых технологий, отвечающим ряду требований, из которых следует выделить безопасность, эксплуатационную эффективность, быстроту возведения и низкий срок эксплуатации, технологическую и ресурсную автономность. Следует отметить возобновляющийся интерес к технологии магнитной левитации в России и ее внедрению в транспортную систему. А. А. Зайцев сыграл выдающуюся роль в возрождении и развитии отечественной магнитолевитационной технологии (маглев). Под его руководством были начаты работы по исследованию магнитной левитации и изготовлению действующих макетов.

Мировой опыт эксплуатации магнитолевитационного транспорта позволил выявить преимущества перед остальными видами транспорта по таким показателям как шум, вибрации, возможность гармонировать со сложным рельефом мегаполиса [2]. Например, городская линии маглева в Южной Корее запущена с 2016 года, в Китае также функционирует несколько магнитолевитационных линий пригородного сообщения, технология применяется также в Японии, Бразилии, Германии – всего 11 действующих проектов.

Магнитолевитационные технологии очень привлекательны своими характеристиками скорости, ускорения, точностью позиционирования подвижных единиц (до долей мм, что для железных дорог неосуществимо), отсутствие контакта между путем и подвижной единицей (отсутствие пыли, образующейся в результате износа колес).

В настоящей статье рассмотрен вопрос управления подвижными единицами: система интервального регулирования [3, 4, 5] движения магнитолевитационных (или железнодорожных) транспортных средств на основе концепции подвижных блок-участков и с использованием цифрового радиоканала [6] (рис. 1).

Рис. 1. Схема процесса интервального регулирования в системе с подвижными блок-участками с использованием цифрового радиоканала

В качестве обоснования выбора рассматриваемого принципа управления для магнитолевитационного транспорта выделим основные достоинства системы с подвижными блок-участками:

– более высокая энергоэффективность в силу отсутствия необходимости в преобразовании вращательного движения тяговых двигателей в поступательное движение подвижного состава;
– рекордная скорость для систем колейного транспорта;
– рекордная пропускная способность для систем колейного транспорта;
– отсутствие механического трения с конструкциями пути и связанного с трением износа;
– эстакадная конструкция магнитолевитационного пути свободна от заградительного эффекта, нарушающего инварианты существующих ландшафтов;
– снижение потребности в парках формирования и расформирования поездов (формирование составов может осуществляться бесконтактно в движении автономных подвижных единиц).

– отсутствие необходимости в светофорах, рельсовых цепях и другом напольном оборудовании системы сигнализации (управление движением организуется по радиоканалам через систему притрассовых базовых станций). Напольное оборудование следует предусмотреть на случай деградации канала управления по радиосвязи (как резервный канал);
– стимул в развитии и совершенствовании аэродинамики высокоскоростных объектов в приземном слое воздуха;
– стимул в развитии и совершенствовании высоконадежных систем связи с высокоскоростными объектами наземного транспорта.

В системе интервального регулирования с использованием подвижных блок-участков каждая подвижная единица описывается вектором (1):

$$\{\mathrm{X}_{S_i}(t), V_{S_i}(t), P_{S_i}(t)\}, \quad (1)$$

где $X_{Si}(t)$ *и* $V_{Si}(t)$ – место и скорость подвижной единицы S_i на пути в момент времени t, S_i может быть одиночным вагоном или составом вагонов;

$P_{Si}(t)$ – двоичный вектор состояния бортовых систем S_i-й подвижной единицы в момент времени t (в векторе около 15-20 компонентов – в зависимости от типа подвижного состава, значение 1 означает, что бортовая система работает в штатном режиме, 0 – система в нештатном режиме).

Далее с целью формирования единого понятийного аппарата обозначим основные определения и условия, действующие в системе интервального регулирования с подвижными блок-участками:
– автономная подвижная единица – это либо одиночная подвижная единица, либо состав из двух или нескольких одиночных подвижных единиц;
– подвижный блок-участок – это расстояние между соседними автономными подвижными единицами. Блок-участок является функцией скорости – чем больше скорость, тем больше длина блок-участка;
– подвижный блок-участок, разделяющий две соседние автономные подвижные единицы, не должен быть меньше длины тормозного пути второй автономной подвижной единицы;
– штатные значения ускорения при регулировании скорости не должны превышать 2 м/сек^2 – предельно допустимое значение для сидящего человека-пассажира. В маглеве возможны значительно более существенные значения ускорений;
– цифровой радиоканал для управления автономными подвижными единицами должен соответствовать требованиям к цифровой радиосвязи со стороны железных дорог.

Отметим, что, в частности, стандарт цифровой радиосвязи LTE-R (Long Term Evolution for Railways) соответствует требованиям документа EIRENE

к железнодорожной радиосвязи, разработанного для железных дорог Евросоюза; одним из примеров таких требований является команда "Стоп" всем поездам, находящимся в зоне радиопокрытия определенной базовой станции.

Рассмотрим постановку одной из задач, которая возникает при внедрении в транспортную систему описанной технологии: оптимизировать скорости движения n автономных последовательных подвижных единиц (S_1,S_2,.. S_n) в системе интервального регулирования с подвижными блок-участками с учетом уже описанных условий, действующих в системе интервального регулирования с подвижными блок-участками:

$$Opt\{V_{\{S_1,S_2\cdots S_n\}}\ ,V_{S_1},V_{S_2},\cdots V_{S_n}),t\},$$

здесь $V_{\{S1,\ S2,\ldots Sn\}}$ (V_{S1}, V_{S2},… V_{Sn}), t – скорость движения всей последовательности (S_1,S_2,.. S_n) автономных подвижных единиц в момент времени t, V_{S1}, V_{S2}, … V_{Sn} – скорости подвижных единиц V_{Si} в последовательности (S_1,S_2, ... S_n) при условии, что для любой пары S_i и S_{i+1} выполняется условие:

$$\mathrm{X}_{S_i}(t) - \mathrm{X}_{S_{i+1}}(t) \geq \mathrm{C}_{S_i+1}(t, V_{S_{i+1}}\},$$

где $X_{Si}(t)$ – $X_{Si+1}(t)$ – расстояние между подвижными единицами S_i и S_{i+1} в момент t, $C_{Si+1}(t)$ – длина тормозного пути S_{i+1}–й подвижной единицы в момент t.

Следует обратить внимание, что при проектировании транспортной системы (в том числе магнитолевитационной) следует учитывать основные требования этапам, охватывающие не только техническую сторону, но и процессную, организационную структуру, персонал:

– управление проектом – комплексная оптимизация по показателям готовности, безопасности и стоимости (в соответствии со стандартом МЭК 62278);
– управление безопасностью – проектирование системы менеджмента безопасности с метрикой априорной оценки уязвимости от угроз безопасности;
– управление организационной структурой – проектирование базовых, обеспечивающих и управленческих процессов в соответствии с метрикой стандарта ISO 22163;
– управление персоналом – в соответствии с метрикой технической и поведенческой компетентности персонала.

В дальнейшей работе по данной теме в качестве инструмента исследования, позволяющего увязать функции безопасности системы и функции по назначению объекта, анализировать и оптимизировать процессы управле-

ния движением поездов с учетом различных факторов, предполагается использовать имитационное моделирование и статистические испытания; поскольку многофукнкциональность имитационной модели позволяет как оптимизировать текущие параметры системы, так и прогнозировать последствия изменений в ней.

Список используемых источников

1. Левин Д. Ю. Расчет и оценка эффективности использования перевозочных возможностей железных дорог // Наука и технологии железных дорог. Вып. 3 (27). С. 8–17.

2. Hyung-S uk Han, Dong-S ung Kim. Magnetic Levitarion. Maglev Technology and Applications. Springer, 2016 (Springer Tracts on Transportation and Traffic. Vol. 13.) DOI: 10.1007/978-94-017-7524-3.

3. Баклажков Р. В., Батраев В. В., Вихрова Н. Ю., Миронов В. С., Мурин С. А., Попов П. А., Розенберг Е. Н., Розенберг И. Н., Шухина Е. Е. Система интервального регулирования движения поездов. Патент на изобретение №2519323. Бюл. № 16, 10.06.2014.

4. Никитин А. Б., Прокофьев А. А., Наседкин О. А., Попов П. А, Королев И. Н. Система управления движением поездов. Патент на полезную модель № 117386. Бюл. №18,27.06.2012.

5. Гринфельд И. Н., Киселева С. В., Кисельгоф Г. К., Красовицкий Д. М., Попов П. А., Розенберг Е. Н., Шухина Е. Е. Способ интервального регулирования движения поездов и система для его реализации. Патент на изобретение № 2509672. Бюл. № 8, 20.03.2014.

6. Попов П. А. Совершенствование методов и алгоритмов управления в системах интервального регулирования движения поездов с использованием радиоканала. автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 Попов Павел Александрович. СПб., 2014. 17 с.

A MODEL OF A SYSTEM FOR REGULATING THE MOVEMENT OF MAGNETICALLY LEVITATING VEHICLES BASED ON A RADIO CHANNEL

Evdokimova O., Shmatchenko V.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article briefly describes the specifics of the movement of a vehicle on a magnetic suspension. A functional model of an interval control system based on the concept of mobile block sections with radio channels is considered, where information about the current value of this coordinate is transmitted via the radio channel along the coordinate of the mobile unit ahead. The additional transmission of information on the current braking distance over the radio channel makes it possible to automatically reduce the interval between vehicles to zero. The main advantages of the magnetolevitation transport system with movable block sections are formulated.

Key words: *model, magnetolevitation transport, incremental train control, radio channel*

УДК 621.316.72
ГРНТИ 47.01.00

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ И СВЯЗИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

О. Г. Евдокимова

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

В статье сформулированы и рассмотрены проблемы качества электроэнергии для систем автоматики и связи на железнодорожном транспорте. Сформулированы основные специфические отраслевые особенности электроснабжения, влияющие на стабильность характеристик электроэнергии. Указаны устройства, применение которых позволяет нормализовать параметры качества электрической энергии в сети.

электроэнергия, качество электроэнергии, системы связи

Развитие транспортных технологий неразрывно связано с технологическим прогрессом, который сопровождается все более стремительным расширением области применения устройств автоматики и связи (в том числе и беспроводных), построенных на микропроцессорной базе. Внедрение оборудования с элементами, предъявляющими высокие требования к показателям качества электроэнергии (ПКЭ), обостряет актуальность вопросов обеспечения стабильности характеристик напряжения и контроля за соответствием нормативных значений.

Согласно имеющимся оценкам [1], снижение качества электрической энергии обходится промышленному сектору и в целом бизнес-сообществу Евросоюза порядка 10 миллиардов евро ежегодно, а затраты на превентивные меры составляют менее 5 % от этой суммы. Можно предположить, что в России в целом и на железных дорогах, в частности, абсолютные и относительные потери не меньше.

Есть и частные проблемы, характерные для железнодорожного транспорта, связанные с качеством электроэнергии. Специфика непосредственного устройства электроустановок на подвижных составах, работающих на электрифицированных участках пути с переменным током (с частотой 50 Гц), обуславливает изменения формы тока и напряжения в сети тяговой подстанции, способствует энергетическим потерям (снижению КПД) и возникновению несимметрии. Особенности трансформации электроэнергии

при эксплуатации подвижного состава на участках с постоянным током способствует возникновению токов высших гармоник в сети.

При этом такое важнейшее эксплуатационное свойство функционирования систем железнодорожной автоматики (СЖАТ) и связи как надежность, характеризующееся безотказностью, ремонтопригодностью, сохраняемостью и долговечностью, в значительной степени определяется качеством электроэнергии в системе энергоснабжения.

Отклонения ПКЭ в сети питания устройств СЖАТ и связи от предельно допустимых значений непосредственно влияют на безопасность (рис.1) и качество эксплуатационной деятельности железных дорог, которое связано и экономическими и имиджевыми показателями.

Рис. 1. Свойства электроэнергии, влияющие на работу устройств СЖАТ и связи

Следует отметить, что стремительное увеличение потребителей (электроприемников), обладающих нелинейными вольтамперными характеристиками, заставляет обращать более пристальное внимание не только на такие определяющие показатели, как частота и уровень напряжения сети, но и на нарушения симметрии и синусоидальности напряжения. В этой связи

особого внимания заслуживает вопрос актуализации нормативного регулирования и системы контроля (системы мониторинга) параметров качества электроэнергии для устройств железнодорожной автоматики и связи.

Учитывая вышеупомянутые отраслевые особенности и причины ухудшения в электроснабжении, представляется необходимым осуществлять мониторинг ПКЭ [2, 3]. Сбор, оценка, анализ результатов, полученных с помощью системы контроля (мониторинга) [4] ПКЭ будет способствовать принятию технически обоснованных решений, направленных на устранение выявленных отклонений от нормативов.

Следует отметить, что для улучшения основных показателей качества электроэнергии в настоящее время может применяться ряд устройств, например, синхронные компенсаторы (для повышения коэффициента мощности), установки продольной и поперечной регулируемой и нерегулируемой компенсации (для регулирования напряжения, повышения его уровня и снижения колебаний), устройства регулирования напряжения на трансформаторах под нагрузкой, фильтросимметрирующие устройства.

В настоящее время отечественные производители выпускают современные технические средства кондиционирования электроэнергии, которые возможно применять в системах электропитания связи и ЖАТ, например, активные фильтры, быстродействующие фильтрокомпенсирующие устройства, существуют решения по применению гибридных фильтркомпенсирующих устройств [5], которые также можно рассматривать для применения в транспортной отрасли.

Действие активного фильтра гармоник (рис. 2) основывается на функции непрерывно анализировать гармонический состав нелинейной нагрузки и возможности генерировать в сеть аналогичные гармоники с противоположной фазой. Результатом применения фильтра является компенсация гармонических составляющих и их нейтрализация. Таким образом помехи от нелинейной нагрузки дальше в сеть от точки подключения фильтра не распространяются. Применение фильтрокомпенсирующего устройства направлено на нивелирование влияния избыточной мощности, возникающей от подключения потребителей с нелинейными и линейными нагрузками.

При использовании современных технических средств кондиционирования электроэнергии в системах железнодорожной автоматики и телемеханик возможно свести к минимуму несоответствие качества электроэнергии. Уменьшится доля отказов устройств железнодорожной автоматики и теле-

механики на 10-11 %. Увеличится срок службы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

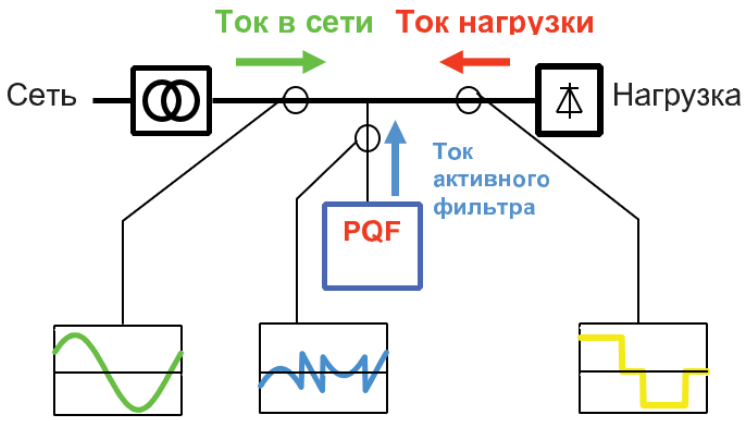


Рис. 2. Структурная схема активного фильтра

Список используемых источников

1. Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» и актуальные вопросы ее реализации // Евразия вести, 2021, С. 3. URL: http://eav.ru/pdf/eav2021-11.pdf (дата обращения 10.03.2025).

2. Тухас В. А., Эйнтроп С. А., Пожидаев С. В. Построение территориальной системы мониторинга показателей качества электроэнергии в режиме реального времени. Петрозаводск: Электро, 2005. № 1.

3. Ларин А. Н. Контроль показателей качества электрической энергии на электрифицированных железных дорогах переменного тока // Омский научный вестник № 6 (41), 2006. С. 92–94.

4. Кривоногов С. В., Романова А. А. Система мониторинга для повышения качества энергии в системах электроснабжения потребителей электроэнергии // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162. 2023, Vol. 11. № 9. P.100–108.

5. Черемисин В. Т. Совершенствование методов и средств управления транспортом и распределением электроэнергии в системах электроснабжения стационарных потребителей железных дорог: Научная монография / В. Т. Черемисин, Е. А. Третьяков; Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2017. 169 с.

IMPROVING THE QUALITY OF ELECTRICITY IN AUTOMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS IN RAILWAY TRANSPORT

Evdokimova O.
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

The article formulates and examines the problems of electricity quality for automation and communication systems in railway transport. The main industry-specific features of power supply affecting the stability of electric power characteristics are formulated. The devices are indicated, the use of which makes it possible to normalize the quality parameters of electrical energy in the network.

Key words: *electricity, electricity quality, communication systems*

УДК 004.732
ГРНТИ 49.33.31

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ БИЛЛИНГА В ИЕРАРХИЧЕСКУЮ SDN-СЕТЬ

В. С. Елагин, С. В. Кисляков, Д. А. Чекалов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящее время во всем мире продолжается быстрый рост сети Интернет и приложений на ее основе. Для рядового пользователя важны скорость интернет-соединения и быстрый доступ с любого устройства к приобретенным услугам оператора. Для удобства потенциального клиента и повышения своей привлекательности, а значит и прибыли, операторы связи выпускают новые условия доступа к сервисам. Это различные варианты безлимитного доступа к конкретным сервисам (видеохостингам, онлайн-кинотеатрам, мессенджерам и т.д.) на ограниченный срок, которые легко подключить через операторский сервис управления подпиской. Все данные услуги должны фиксироваться в биллинг-системе корректно и оперативно, и что главное – автоматизировано. Крупные операторы связи (Ростелеком, R-ком, Мегафон и т.д.) стараются создать целые экосистемы для своих клиентов, в которых существует множество сегментов сети (мобильной, фиксированной, спутниковой), между которыми перемещается клиент, используя единый тарифный план в виде «подписки» как на ряд услуг (стационарный и мобильный интернет), так и на доступ к конкретным сервисам. И у него не должно возникать необходимости заводить отдельные подписки на конкретной сети. Одним из вариантов решения проблемы связности сетей и общего учета действий клиента на разных сегментах сети стало бы внедрение иерархической топологии SDN-сети, где сервера биллинга будут отслеживать действия клиентов, получая метрики от SDN-контроллеров «верхнего» уровня, которые в свою очередь будут получать их с контроллеров «нижнего», сегментного уровня.

широкополосный доступ, 4G LTE, Access Point Network, SDN-контроллер, BRAS, биллинг

Введение

В традиционном исполнении сети можно поделить на стационарные и мобильные. Мобильные, в своей сути, отличаются от стационарных только последним участком, между базовой станцией и мобильным устройством клиента, на которых используется радио-ресурс для доставки данных. Особенно с мобильных сетей 4G LTE, где все данные и запрашиваемые услуги (APN) для доставки используют IP-пакеты. В стационарных сетях функция Policing и биллинг-сервер располагаются в ядре сети оператора. В мобильных сетях биллинг абонента происходит при попытке запроса какой-либо услуги, например APN «Internet», когда при установлении сессии PGW запрашивает PCRF (broadband remote access server), с целью получить поли-

тики подключения данного клиента к данному сервису (рис. 1) [1]. Т.е. PCRF находится в ядре мобильной пакетной сети.

Основная часть

После того, как мобильные сети стали полностью «all over IP», появился смысл объединить тарификацию клиентами обоих видов сетей через единый Policer, но для этого необходимо объединить управление данными сетями под единым управляющим компонентом или группой компонентов. В стационарных распределенных сетях управлением трафиком и установлением сессий в рамках сети оператора связи занимается BRAS (Broadband Remote Access Server), размещенный в ядре сети (рис. 2). В мобильных сетях это SGW (Serving Gateway), именно он управляет пользовательскими сессиями и обеспечивает маршрутизацию данных.

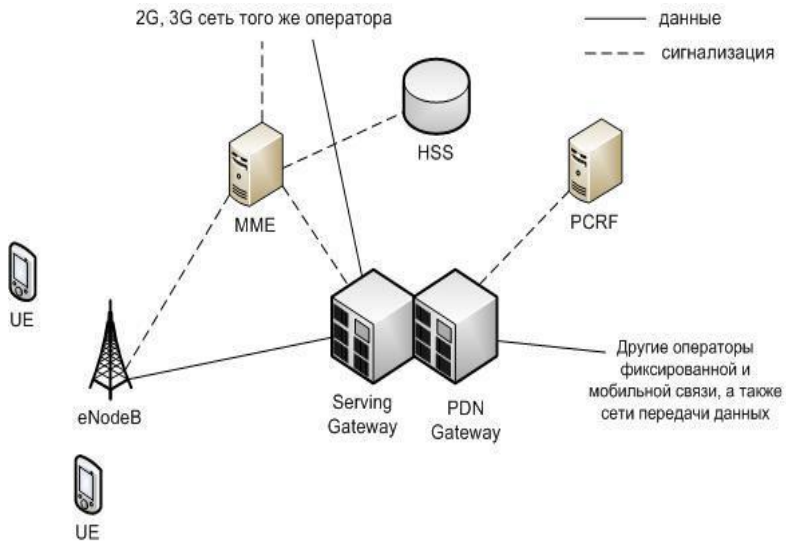


Рис. 1. Схема мобильной сети 4G LTE

Основная идея – это создание SDN-сети, где мобильная сеть оператора связи и независимые части стационарной сети будут являться сегментами общей сети, под управлением SDN-контроллеров на уровне сегмента и взаимодействовать друг с другом с помощью контроллеров «верхнего» уровня. Биллинг будет осуществляться через биллинг-систему, получающую данные об использованном клиентом трафике от SDN-контроллеров «верхнего» уровня, которые получают их от контроллеров, отвечающих за сегмент сети. Такая сеть потребует перестройки топологии, но в теории позволит создать «единое сетевое пространство» для клиента, в котором клиент будет пользоваться услугами, а данные, собираемые биллинг-центром, позволят создать «подписку» в рамках всей сети (рис. 3) [2].

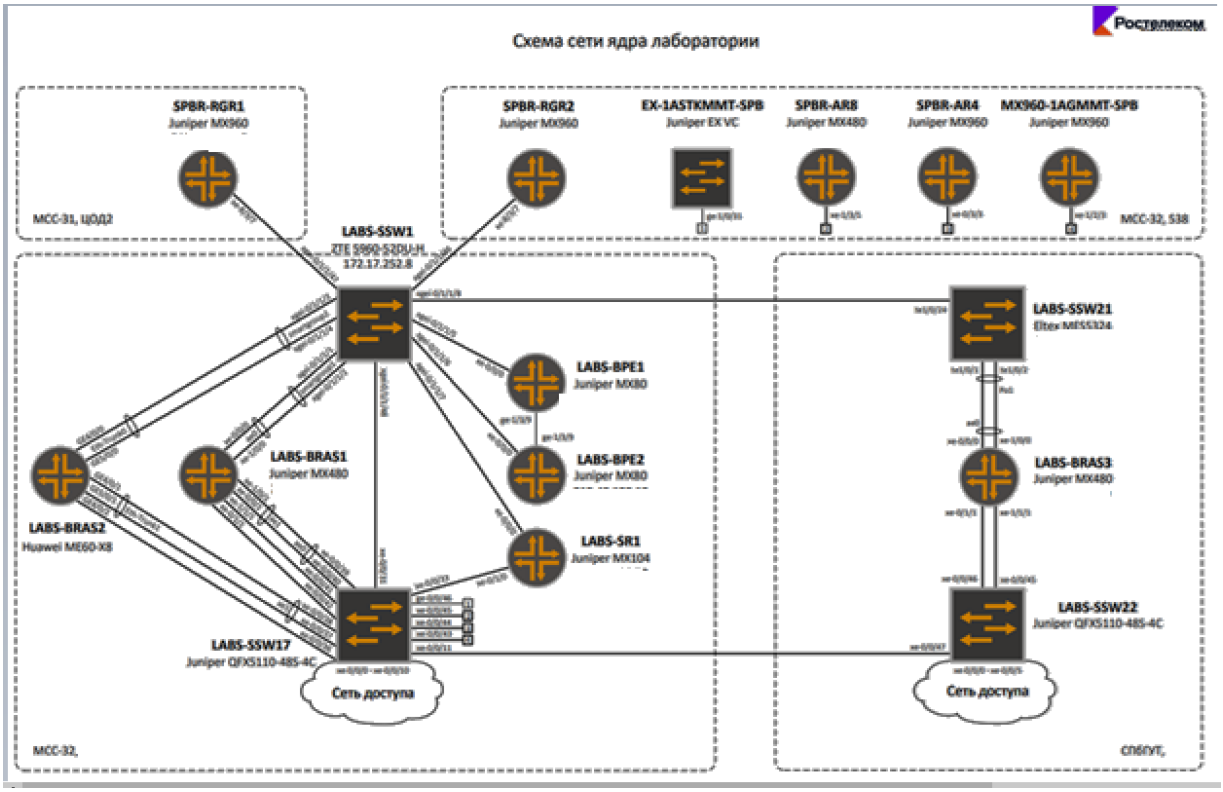


Рис. 2. Топология ядра стационарной сети

Умозрительно подобная сеть с многоуровневой иерархией контроллеров представлена на рисунке 3, где контроллеры A, B, C являются контроллерами «верхнего уровня». Любой контроллер SDN обладает функциональными блоками: управления плоскостью передачи данных (DPCF), координатором, виртуализатором и агентом. Раскрывать каждый в данной статье не имеет смысла, кроме DPCF [3, 4].

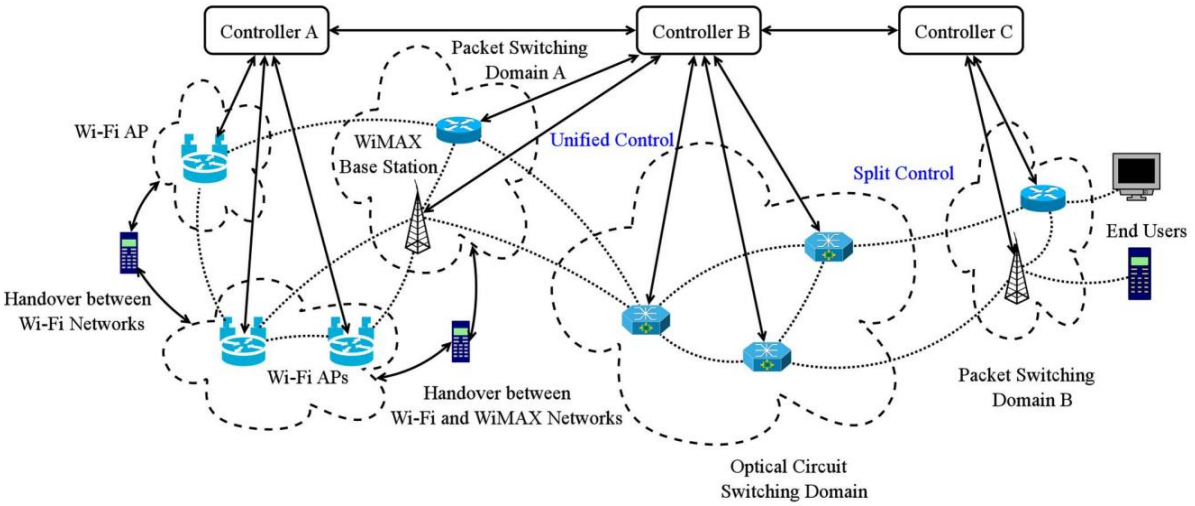


Рис. 3. Логическое представление сети с несколькими контроллерами на сети

Data plane control function (DPCF) – фактически владеет доступными ему подчиненными ресурсами и использует их в соответствии с инструкциями OSS/coordinator или виртуализатора, которые их контролируют. Именно через этот функциональный блок можно настроить взаимодействие с биллинг-сервером, чтобы он отсылал данные по объему трафика и к какому сервису клиент обращается (по DNS-запросам) (рис. 4).

В предложенной топологии есть свои преимущества и недостатки. К последним можно отнести: сложность в управлении – требуется сложная система координации между уровнями контроллеров, чтобы обеспечить правильную работу всей сети. Это повышает требования к вычислительным мощностям процессора SDN-контроллера, а также к качеству софта разработчика и создает потенциальную проблему с доступом к сегменту сети – в случае выхода из строя местного контроллера доступ к сети какого-либо сегмента будет нарушен [5]. Последнюю можно решить резервированием каналов.

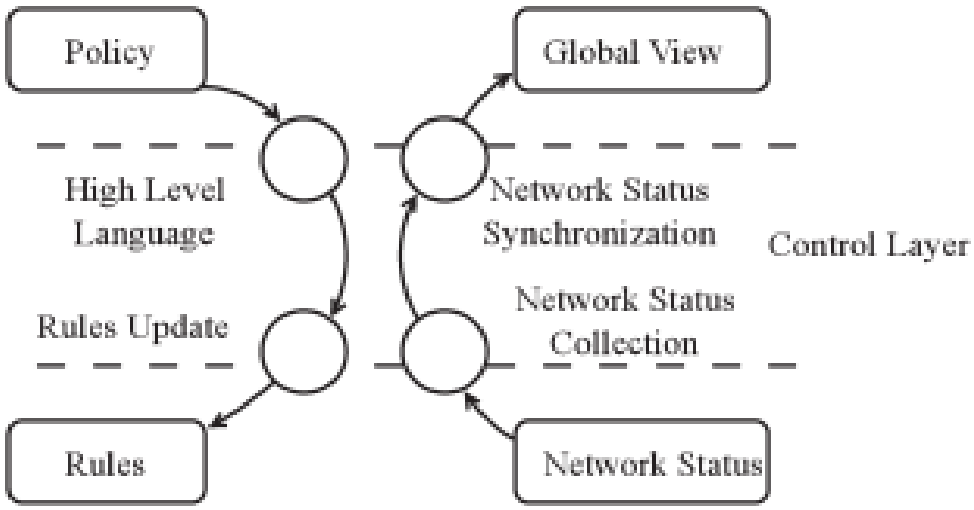


Рис. 4. Функциональная схема контроллера

В качестве примера функционирования подобной сети на диаграмме последовательности (рис. 5) представлена ситуация, когда абонент переключается со стационарной сети на мобильную. В процедуре переключения задействован биллинг-сервер. EPC (Evolved Packet Core) представлена в схематически (неполной) ради упрощения диаграммы.

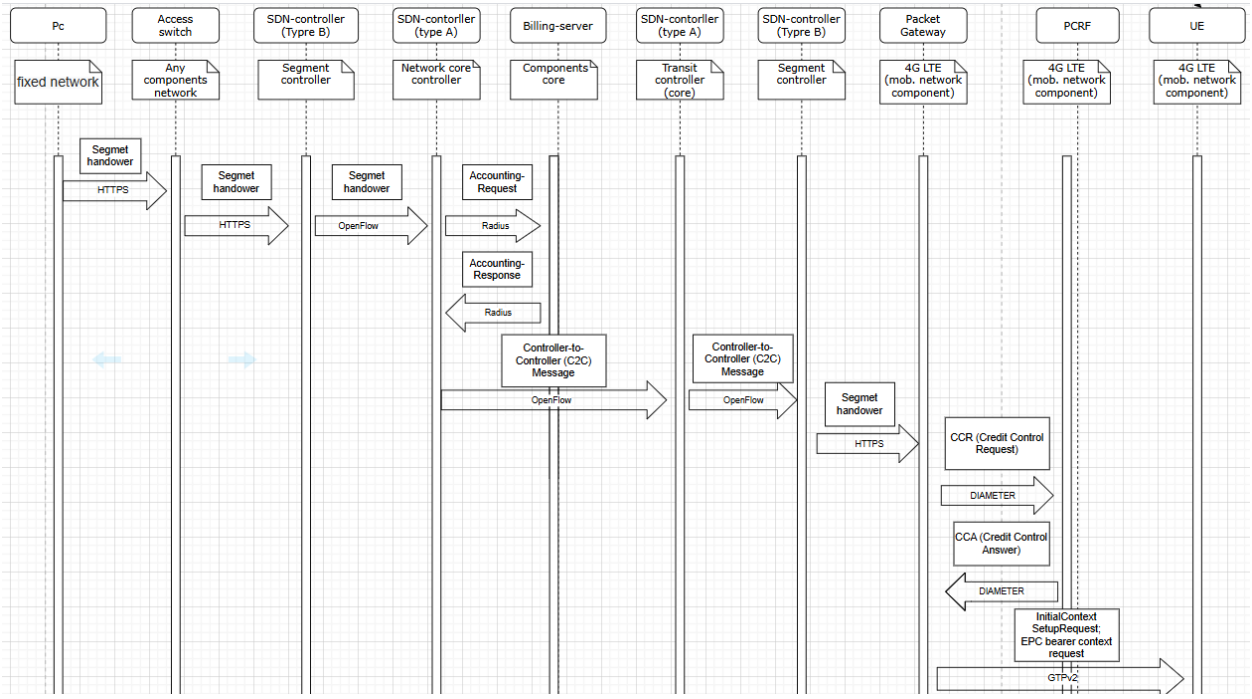


Рис. 5. Процедура Handover-client

Sdn-контроллер использует протокол OpenFlow для управления сетевыми элементами. Для обмена информацией о трафике он не подходит, поэтому лучше использовать API-интерфейс для HTTP запросов от контроллера к биллинг центру. SDN-контроллер может использовать RESTful API на биллинг-сервер. Например, это может выглядеть следующим образом:

– формирование объекта JSON с данными о трафике на SDN-контроллере;
– отправка запроса на биллинг-сервер с использованием HTTP протокола.

Пример простого JSON объекта, отправленного на биллинг-центр:

```
{
"user_id": "dm.Ivanov",
"data_usage": "500MB",
"duration": "60min"
}
```

– биллинг-сервер получает информацию от SDN-контроллера и обрабатывает ее, обновляя данные о пользователе у себя и отправляет в ответ сообщение типа Credit Control Response" (CCR):

```
<response>
 <result>
 <status>success</status> - предоставить доступ клиенту к запрашиваемому APN
 <message>Client is authorized for the requested service</message>
 </result>
 <service-details>
 <service-id>LTE_network1</service-id>
 <max-bandwidth>100Mbps</max-bandwidth> - выделить ширину канала
```

```
 <service-type>Internet</service-type>
 <charging-info>
 <charging-rule>
 <rule-id>rule_67890</rule-id>
 <charging-rate>0.10</charging-rate>
 <billing-method>prepaid</billing-method>
 </charging-rule>
 </charging-info>
 </service-details>
</response>
```

После получения разрешения на Handover, SDN-контроллер отсылает данные в сторону PGW, сети к которой намеривается подключиться абонент. PGW выдает IP-адрес из пула доступных адресов под данный APN и отправляет его подключаемому абоненту. Когда абонент захочет покинуть данную сеть, PGW отправит запрос к SDN-контроллеру на переключение к другой сети в сообщении, содержащем информацию от местного PCRF о том, сколько трафика потребил клиент [6]. Контроллер передаст эти данные биллинг-серверу, тот просуммирует общий потребленный трафик, проверит остатки от подписки, проверит разрешение подключение к сервису и выдаст сообщение, содержащее в себе значение:

```
 <status>success</status> или <status>failure</status>.
```

Заключение

Предложенная схема организации сети имеет свои недостатки, перестройка топологии, а также множество технических моментов потребует серьезных затрат. Но в итоге может дать более гибкое управление сетью, повысить автоматизацию управления, а также внедрить единый биллинг абонента на всей сети оператора связи, что даст возможность разрабатывать гибкие более интересные возможности для клиентов по услугам и сервисам. Например, единый тарифный план на услугу интернет на всей сети. Клиент использует разные устройства и разные сети, но потребление им трафика считывается на одном биллинг-сервере, который ведет учет используемым клиентом ресурсам.

Список используемых источников

1. 3GPP TS 32.150 V18.0.0. Release 18. «Telecommunication management; Integration Reference Point (IRP); Network resource model (NRM); Template for 3GPP NRM IRP information service (IS)» // Valbonne: 3rd Generation Partnership Project, 2024. 36 с. URL: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.150/32150-1800.zip (дата обращения 10.03.2025).

2. Семеновых А. А., Лапонина О. Р. Сравнительный анализ SDN-контроллеров // International Journal of Open Information Technologies. URL: http://injoit.ru/ index.php/j1/article/download/590/584 (дата обращения 10.03.2025).

3. Das S. From CORD to SDN enabled broadband access (SEBA) [Invited Tutorial] // Journal of Optical Communications and Networking, 2021. Vol. 13. № 1. PP. A88–A99.

4. Specification ONF TR-539: OpenFlow Controller Benchmarking Methodologies, Version 1.0, November 2016.

5. Muhammad H. Raza A, Shyamala C., Sivakumar B, Ali Nafarieh A, Bill Robertson A. A Comparison of Software Defined Network (SDN) Implementation Strategies // sciencedirect.com. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S1877050914007327 (дата обращения 10.03.2025).

6. Wenfeng Xia, Yonggang Wen, Senior Member, IEEE, Chuan Heng Foh, Senior Member, IEEE, Dusit Niyato, Member, IEEE, and Haiyong Xie, Member, IEEE. A Survey on Software-Defined Networking. URL: https://personal.ntu.edu.sg/ygwen/Paper/XWF-CST-15.pdf (дата обращения 10.03.2025).

INTERCALATION BILLING SYSTEMS INTO A HIERARCHICAL SDN NETWORK

Elagin V., Kislyakov V., Chekalov D.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Currently, the rapid growth of the Internet and applications based on it continues worldwide. For the average user, the speed of the Internet connection and fast access from any device to the purchased operator services are important. For the convenience of a potential customer and to increase their attractiveness, and hence profits, telecom operators are issuing new terms of access to services. These are various options for unlimited access to specific services (video hosting, online cinemas, instant messengers, etc.) for a limited period of time, which are easy to connect through the operator's subscription management service. All these services must be recorded in the billing system correctly and promptly, and most importantly, automated. Large telecom operators (Rostelecom, R-com, Megafon, etc.) are trying to create entire ecosystems for their customers, in which there are many network segments (mobile, fixed, satellite), between which the customer moves using a single tariff plan in the form of a "subscription" to both a range of services (fixed and mobile Internet), as well as access to specific services. And he should not have to create separate subscriptions on a specific network. One of the solutions to the problem of network connectivity and general accounting of client actions on different network segments would be the introduction of a hierarchical SDN network topology, where billing servers would track client actions by receiving metrics from the "upper" level SDN controllers, which in turn would receive them from the "lower", segment-level controllers.

Key words: *Broadband access, 4G LTE, Access Point Network, SDN controller, BRAS, billing*

УДК 004
ГРНТИ 49.33

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СЕТЕВЫХ УСТРОЙСТВ

В. С. Елагин, С. А. Поляков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной статье рассматриваются методы прогнозирования состояния аппаратно-программной реализации сетевых устройств, используемых в видеоконференцсвязи. Описаны ключевые параметры для мониторинга и предотвращения отказов. С развитием облачных технологий, интернета вещей и виртуализации увеличивается нагрузка на сети, что требуется более эффективного мониторинга и прогнозирования состояния аппаратно-программных комплексов для обеспечения их стабильной работы. Прогнозирование состояний сетевых устройств позволяет не только предотвращать потенциальные сбои, но и оптимизировать производительность и затраты на обслуживание.

прогнозирование, сетевые устройства, аппаратно-программная реализация, видеоконференцсвязь, машинное обучение

Введение

В предыдущей моей статье уже были рассмотрены методы прогнозирования состояния аппаратно-программной реализации сетевых устройств. Эти методы могут быть использованы для предотвращения потенциальных сбоях при работе видеоконференцсвязи.

Видеоконференцсвязь (ВКС) является важным инструментом цифровой коммуникации, обеспечивая удаленное взаимодействие пользователей в режиме реального времени. Надежность и стабильность работы аппаратно-программных решений для ВКС критически важны, особенно в корпоративном и государственном секторах. Однако такие системы подвержены различным сбоям, вызванным аппаратными неисправностями, программными ошибками и сетевыми проблемами. В данной статье рассматриваются параметры, которые могут быть использованы в моделях прогнозирования состояния сетевых устройств, задействованных в ВКС.

Выбор и анализ параметром для прогнозирования

Выбор параметров для прогнозирования состояния сетевых устройств в ВКС является сложным процессом, который включает в себя анализ данных, выявления закономерностей [1]. Для построения эффективной модели прогнозирования необходимо разделить параметры на несколько аспектов:

– аппаратные параметры;
– программные параметры;
– сетевые параметры;
– исторические данные для отказов

Подробнее эти аспекты рассмотрим в следующих абзацах.

1. Аппаратные параметры

Аппаратные характеристики играют ключевую роль в стабильности работы ВКС. Их мониторинг позволяет заблаговременно выявлять потенциальные неисправности, а также предотвращать перегрузки, перегрев и другие факторы, влияющие на надежность системы. Рассмотрим наиболее значимые аппаратные параметры:

– температура компонентов – критический параметр, так как перегрев компонентов системы может приводить к снижению производительности, аварийному отключению системы, а также к выходу из строя оборудования. Нужно мониторить температуру таких компоненты, как CPU, GPU, RAM, SSD, HDD, Блок питания, Материнская плата и т.д.;
– загрузка центрального процессора (CPU Load) – высокая загрузка процессора указывает на превышение допустимой нагрузки на систему, что может привести к увеличению задержек при обработке видеопотока, снижению качества связи и даже зависанию системы;
– использование оперативной памяти (RAM Usage) – нехватка свободной оперативной памяти приводит к увеличению использования файла подкачки, что значительно замедляет работу системы. В условиях видеоконференцсвязи это может выражаться в нестабильности видеопотока, прерывистом звуке и потере соединения;
– состояние жесткого диска (IOPS, SMART-метрики) – износ жестких дисков или SSD-накопителей приводит к торможению системы замедлению загрузки данных, и в итоге к сбоям в работе программного обеспечения;
– параметры сетевого интерфейса – сетевые адаптеры и их характеристики определяют стабильность соединения ВКС. Низкая пропускная способ-

ность или перегруженные интерфейсы могут привести к потере пакетов, задержкам и разрывам соединений.

Неправильная работа хотя бы одного из этих аппаратных компонентов может существенно повлиять на качество видеоконференцсвязи. Например, перегрев процессора в момент важного совещания может вызвать резкое падение производительности системы, приводя к зависанию изображения или полному отключению сервиса. Поэтому важно не только отслеживать эти параметры в режиме реального времени, но и внедрять предиктивные модели анализа, которые позволяют прогнозировать возможные сбои и предупреждать их до того, как они нанесут ущерб работе системы.

2. Программные параметры

Программное обеспечение играет ключевую роль в обеспечении стабильности работы ВКС. Даже если аппаратная часть функционирует безупречно, сбои в ПО могут привести к потере соединения, ухудшению качества связи и возникновению уязвимостей в системе безопасности [2]. Эти параметры являются уникальными для каждого вендора, так как у всех разное ПО, разные структуры логирования и реализации. Рассмотрим основные:

– версии и обновления ПО – устаревшее программное обеспечение может содержать уязвимости, критические ошибки и несовместимость с новыми стандартами связи. Если система не обновляется своевременно, она становится мишенью для кибератак и может не справляться с современными нагрузками. Например, старая версия ПО сервера ВКС может иметь ошибки в обработке видеопотока, что приведет к зависанию трансляции;
– ошибки в логах системы – системные логи содержат информацию о сбоях, конфликтах программ и проблемах с ресурсами. Их анализ позволяет выявлять потенциальные проблемы на ранних стадиях. Например, частые ошибки в логах, связанные с падением службы передачи данных, могут указывать на программные утечки памяти.

Программные параметры играют не менее важную роль, чем аппаратные. Ошибки в ПО, устаревшие версии программ и некорректные конфигурации могут вызывать перебои в работе ВКС. Своевременные обновления, анализ логов и контроль нагрузки помогают снизить вероятность сбоев и повысить стабильность системы.

3. Сетевые параметры

Качество видеоконференцсвязи напрямую зависит от характеристик сети [3]. Даже при исправном оборудовании и корректно работающем программном обеспечении сеть может стать узким местом, ограничивающим производительность системы. Основные параметры сети, влияющие на качество ВКС:

– средняя и пиковая нагрузка на сеть – перегруженная сеть не может своевременно передавать пакеты данных, что приводит к зависанию видеопотока;
– задержки (latency) и вариативность задержек (jitter) – видеоконференции требуют минимальных задержек. Высокая латентность приводит к рассинхронизации звука и изображения, а высокая вариативность задержек (jitter) вызывает рывки в видео;
– процент потери пакетов – если сеть теряет пакеты данных, видео и звук становятся прерывистыми, а в некоторых случаях соединение может разрываться;
– пропускная способность каналов связи – недостаточная пропускная способность ограничивает разрешение видео и может вынуждать систему снижать качество изображения;
– доступность ключевых узлов – отказ серверов, маршрутизаторов и других критических сетевых элементов может привести к полной потере связи.

Качество сети напрямую влияет на работу ВКС. Высокие задержки, потери пакетов и перегрузки каналов связи снижают качество видеосигнала и приводят к разрывам соединений.

4. Исторические данные об отказах

Это самый обширный и сложный аспект, так как он включает в себя все предыдущие аспекты. Анализ исторических данных об отказах позволяет выявлять закономерности в сбоях системы и прогнозировать возможные неисправности [4]. Исторические данные помогают строить предиктивные модели, позволяя устранять потенциальные проблемы до их появления [5]. Ключевые аспекты анализа:

– логирование отказов и аварийных ситуаций – запись всех сбоев и проблем позволяет анализировать причины их возникновения;

– частота сбоев и время их устранения – анализ периодичности отказов и среднего времени их устранения помогает определить слабые места системы;
– влияние отказов на качество ВКС – некоторые сбои (например, кратковременные задержки в передаче данных) не всегда критичны, тогда как другие (падение основного сервера) могут полностью нарушить работу системы. Классификация отказов по степени влияния помогает расставить приоритеты в их предотвращении.

Исторические данные позволяют использовать методы машинного обучения для предиктивного анализа отказов, что помогает заранее выявлять узкие места в системе и предотвращать критические сбои.

Заключение

В данной статье были написаны основные параметры, которые используются в методах прогнозирования состояния аппаратно-программной реализации сетевых устройств. Изучив информацию, можем сделать вывод, что для эффективного прогнозирования состояния аппаратно-программной реализации сетевых устройств ВКС необходимо учитывать комплекс параметров: аппаратные характеристики, программные показатели, сетевые параметры и исторические данные об отказах. Комбинированный анализ этих факторов позволяет повысить точность предсказаний и своевременно выявлять потенциальные сбои.

Используя эту информации, в будущем сможем найти правильную комбинация параметров, которая для конкретной модели даст наилучший результат и позволит эффективно управлять трафиком.

Список используемых источников

1. Wang, Y., Li, J., & Zhang, X. (2023). Deep learning-based predictive maintenance for networked systems. IEEE Transactions on Network and Service Management. URL: https://doi.org/10.1109/TNSM.2023.3265401 (дата обращения 18.02.2025).

2. Kumar, R., Singh, A., & Verma, P. (2022). A survey on machine learning techniques for anomaly detection in network security. Journal of Cybersecurity and Privacy. URL: https://doi.org/10.3390/jcp2020015 (дата обращения 02.03.2025).

3. Smith, J., & Brown, K. (2021). Network failure prediction using historical outage data and AI models. Computer Networks. URL: https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108267 (дата обращения 19.02.2025).

4. Oliveira, M., & Silva, D. (2022). Impact of network parameters on video conferencing quality: A real-time analysis. Telecommunication Systems. URL: https://doi.org/10.1007/s11235-022-00964-5 (дата обращения 19.02.2025).

5. Zhang, T., & Chen, L. (2023). Predictive analytics for video conferencing systems: A data-driven approach. International Journal of Computer Science and Telecommunications. URL: https://doi.org/10.1007/s11390-023-9812-9 (дата обращения 18.02.2025).

RESEARCH OF PARAMETERS FOR PREDICTING THE STATE OF HARDWARE AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF NETWORK DEVICES

Elagin V., Polyakov S.
The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunication

This article discusses methods for predicting the state of hardware and software implementation of network devices used in videoconferencing (VCS). The key parameters for monitoring and preventing failures are described. With the development of cloud technologies, the Internet of Things (IoT) and virtualization, the load on networks is increasing, which requires more effective monitoring and forecasting of the state of hardware and software complexes to ensure their stable operation. Predicting the state of network devices allows not only to prevent potential failures, but also to optimize performance and maintenance costs.

Key words: *Forecasting, network devices, hardware and software implementation, videoconferencing, machine learning*

УДК 621.382
ГРНТИ 49.46.29

ПЛОСКИЙ УГОЛ ЗРЕНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

А. О. Зеневич, О. В. Кочергина

Белорусская государственная академия связи

В настоящее время развиваются открытые оптические системы связи Li-Fi, поскольку для них характерны высокие скорости передачи и мобильность. При реализации таких систем следует учитывать местоположение объекта передачи информации относительно фотоприемника, поскольку при этом изменяется угол падения оптического излучения на фоточувствительную поверхность фотоприемника. Таким образом, очень важным параметром является плоский угол зрения фотоприемника и его зависимость от внешних факторов, например, температуры.

открытые оптические системы связи, Li-Fi, плоский угол зрения, кремниевый фотоумножитель, температура

В качестве фотоприемника в открытых оптических системах связи *Li-Fi* [1, 2] наиболее перспективными являются кремниевые фотоумножители или Si-ФЭУ. Такие фотоприемники обладают хорошей чувствительностью в видимом диапазоне спектра, низким напряжением питания, они компактны и имеют низкую стоимость [3, 4].

Для проведения исследований отобраны кремниевые фотоумножители трех моделей, имеющие схожую структуру и параметры: КОФ5-1035, *ketek PM* 3325 и *ON Semi FC* 30035.

Под плоским углом зрения β фотоприемника согласно ГОСТ 21934-83 понимают угол в нормальной к фоточувствительному элементу плоскости между направлениями падения параллельного пучка оптического излучения, при которых чувствительность уменьшается до нуля. Угол между нормальной плоскостью к фоточувствительной поверхности фотоприемника и направлением падения луча оптического излучения на эту поверхность обозначим как α. Угол отклонения луча, при котором чувствительность уменьшается до нуля $\alpha_{m.}$ Плоский угол зрения β составляет $2\alpha_m$.

Исследования выполнены для длины оптического излучения 470 нм, которая соответствует максимуму спектральной чувствительности всех ис-

следуемых *Si*-ФЭУ и диапазону спектра, используемому открытыми оптическими системами связи [5].

Для изменения температуры использовалась камера тепла и холода (модель КТХ-74-75/180), которая позволяет обеспечить охлаждение фотоприемника и его защиту от влияния внешних оптических излучений. Для проведения исследований был выбран диапазон температур от 233 до 313 К, так как он охватывает весь диапазон сезонных колебаний температуры умеренного географического пояса, где планируется эксплуатировать оптические системы связи с кремниевыми фотоумножителями.

По результатам измерений вычисляли чувствительность фотоприемника и строили диаграмму направленности в полярных координатах и относительных единицах, то есть $S/S_0(\alpha)$, где S_0 – чувствительность при падении луча оптического излучения в нормальной плоскости к фоточувствительной поверхности фотоприемника, то есть при $\alpha = 0^0$.

ТАБЛИЦА 1. Плоский угол зрения для различных температур

Si-ФЭУ	T, К	Uпр, В	S0, А·см2/Вт	S/S0 для αmax	β, градусы	Δβ/ΔT, градус/К
КОФ5-1035	233	28,9	129	0,55	130	– 0,19
	313	30,3	10	0,41	115	
ketek PM 3325	233	26,4	297	0,50	170	– 0,19
	313	27,2	50	0,33	155	
ON Semi FC 30035	233	23,8	248	0,50	170	– 0,19
	313	24,9	35	0,33	155	

Из результатов, представленных в таблице 1, видно, что уменьшение температуры приводит к увеличению чувствительности в точках максимального отклонения оптического излучения, что связано с увеличением коэффициента усиления тока [6]. Поэтому величина плоского угла зрения увеличивается. Так для модели *ketek PM* 3325 и *ON Semi FC* 30035 максимальный угол отклонения оптического излучения, поступающего на фоточувствительную поверхность *Si*-ФЭУ при температуре 313 К составил $\alpha_m = 77{,}5^0$ при этом наблюдается снижение чувствительности на 50 %. При температуре 233 К максимальный угол отклонения составил $\alpha_m = 85^0$ при уменьшении чувствительности на 67 %. Для КОФ5-1035 при температуре 313 К максимальный угол отклонения составил $\alpha_m = 57{,}5^0$ при снижении

чувствительности на 45 %. Для температуры 233 К α_m составил 65^0 при снижении чувствительности на 59 %.

Таким образом, максимальное значение отклонения чувствительности от S_0 наблюдается для КОФ5-1035, что связано с особенностями конструкции корпуса данных *Si*-ФЭУ. Увеличение плоского угла зрения с ростом температуры не превышало 11 %.

При напряжениях питания Si-ФЭУ $U_{пит} < U_{пр}$ плоский угол зрения увеличивается с увеличением перенапряжения во всем диапазоне исследуемых температур, что связано с увеличением чувствительности *Si*-ФЭУ. При напряжениях питания *Si*-ФЭУ $U_{пит} > U_{пр}$ наблюдается насыщение зависимости величины $\beta(U_{пит})$, то есть с увеличением $U_{пит}$ величина плоского угла зрения *Si*-ФЭУ изменялась не более чем на 10 % для всех исследуемых Si-ФЭУ, что не превышало погрешности измерения плоского угла зрения.

Таким образом, установлено, что наибольшее значение плоского угла зрения составляет 130^0 для КОФ5-1035 и 170^0 для *ketek PM* 3325 и *ON Semi FC* 30035 и может быть получено при температуре 233 К, и напряжениях питания превышающих напряжение пробоя исследуемых *Si*-ФЭУ.

Кремниевые фотоумножители имеют большой плоский угол зрения и могут успешно использоваться в качестве фотоприемников открытых оптических систем связи *Li-Fi* во всем диапазоне сезонных колебаний температуры умеренного географического пояса.

Список используемых источников

1. Arya V., Priya P., Omanakuttan R., Baby S. Li-Fi: The future technology in wireless communication // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. 2015. Vol. 4. Iss. 4. P. 2340–2343.

2. Newland M., Schmogrow R., Cantono M., Vusirikala V. and Hofmeister T. Open optical communication systems at a hyperscale operator // Journal of Optical Communications and Networking. 2020. Vol. 12. № 6. p. 50– 58.

3. Feihu Xu, Xiongfeng Ma, Qiang Zhang, Hoi-Kwong Lo and Jian-Wei Pan. Secure quantum key distribution with realistic devices // Rev. Mod. Phys. 92. 2020. 025002 p.

4. Клемин С. и [др.] Кремниевый фотоэлектронный умножитель. Новые возможности // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2007. № 8. С. 80–86.

5. Гулаков И. Р., Зеневич А. О., Кочергина О. В. Спектральные характеристики кремниевых фотоэлектронных умножителей // Успехи прикладной физики. 2021. Том 9. № 2. С. 164–171.

6. Асаёнок М. А., Зеневич А. О., Кочергина О. В., Новиков Е. В. Усиление фототока лавинными фотоприемниками при микроплазменном пробое // Успехи прикладной физики. 2020. Том. 8. № 2. С. 117 – 122.

FLAT ANGLE OF VIEWING SILICON PHOTOMULTIPLIERS UNDER CONDITIONS OF CHANGING TEMPERATURE

Zenevich A., Kochergina O.
Belarusian State Academy of Telecommunications

Currently, open optical communication systems Li-Fi are being developed, since they are characterized by high transmission rates and mobility. When implementing such systems, it is necessary to take into account the location of the object of information transmission relative to the photodetector, since this changes the angle of incidence of optical radiation on the photosensitive surface of the photodetector. Thus, a very important parameter is the flat angle of view of the photodetector and its dependence on external factors, such as temperature.

Key words: *open optical communication systems, Li-Fi, flat angle of view, silicon photomultiplier, temperature*

УДК 621.382
ГРНТИ 49.46.29

СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ С ДАТЧИКОМ УГЛОВОГО СМЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВОГО ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ

А. О. Зеневич, О. В. Кочергина, Е. В. Новиков

Белорусская государственная академия связи

Задачи, связанные с разработкой способов и устройств для дистанционного контроля углового положения труднодоступных объектов, относятся к числу актуальных в целом ряде современных приложений, например, в системах позиционирования различных видов промышленного оборудования и роботизированных системах, при выполнении измерений углов отклонения поверхностей объектов от базового уровня, профилей и кривизны поверхностей деталей в машиностроении. В связи с этим, целью настоящего исследования является разработка датчика углового смещения на основе кремниевого фотоумножителя для систем слежения.

открытые оптические системы связи, кремниевый фотоумножитель, системы слежения

Структура систем определения углового положения объекта обычно предполагает, что на базовом объекте размещается источник оптического излучения, проецируемого на контролируемый объект, и фотоприемник, регистрирующий отраженное от этого объекта излучение. Возможно также размещение источника излучения непосредственно на контролируемом объекте [1–3].

В подобных структурах часто применяются в качестве фотоприемников кремниевые фотоумножители КФУ. Это лавинные матричные фотоприемники, характеризующиеся большими площадями фоточувствительной поверхности, высокими коэффициентами усиления, низкими напряжениями питания и низкой стоимостью [4, 5], которые отличаются также наличием зависимости фотоотклика от угла падения регистрируемого излучения, что делает целесообразным их применение для регистрации углового смещения в системах слежения.

В работах [6, 7] установлено, что при регистрации оптического излучения, максимальное значение напряжения фотоотклика кремниевых фотоумножителей соответствует ситуации, когда оптический луч подается в нормальной плоскости к фоточувствительной поверхности фотоприемника. Отметим, что полученные значения были симметричны справа и слева

относительно оси, проведенной под углом 0^0 в горизонтальной и вертикальной плоскостях измерения. С ростом отклонения угла падения оптического излучения от 0^0 происходит уменьшение величины напряжения фотосигнала.

Таким образом, при реализации датчика углового смещения на основе кремниевого фотоумножителя для систем слежения рекомендуется поддерживать максимальный уровень фотооткика.

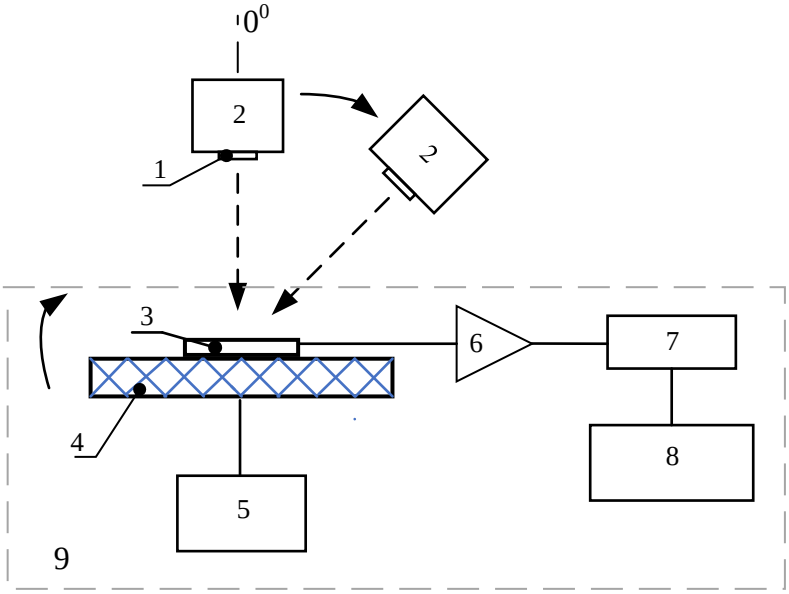


Рис. 1. Структурная схема системы слежения с датчиком углового смещения на основе кремниевого фотоумножителя: 1 – Источник оптического излучения; 2 – контролируемый объект; 3 – кремниевый фотоумножитель; 4 – платформа; 5 – механизм поворота; 6 – усилитель; 7 – АЦП; 8 – блок управления; 9 – базовый объект

Структура системы слежения с датчиком углового смещения на основе КФУ показана на рисунке. В соответствии с рассматриваемым подходом предполагается, что обеспечена оптическая связь контролируемого объекта 2, угловое положение которого отслеживается, и базового объекта 9, на котором установлено измерительное оборудование. На контролируемом объекте 2 размещен источник оптического излучения 1, световой поток которого сфокусирован на фоточувствительной поверхности КФУ 3, установленном на поворотной платформе 4. Возможно также размещение источника оптического излучения 1 на самом базовом объекте таким образом, что это излучение проецируется на контролируемый объект 2, а КФУ 3 регистрирует излучение, отраженное от отражателя, установленного на контролируемом объекте 2.

Работа системы слежения начинается с цикла калибровки, во время которого источник оптического излучения 1 на контролируемом объекте 2, и КФУ 3 располагаются строго напротив друг друга. В этом случае фотоотклик КФУ 3 усиленный усилителем 6 принимает максимальное значение. Цикл калибровки повторяется перед каждым рабочим циклом и позволяет учесть изменения величины фотоотклика, попадающего на КФУ 3 в связи с изменением расстояния между объектами, появлением внешней засветки, медленным изменением мощности источника излучения.

Величина усиленного фотоотклика КФУ преобразуется аналого-цифровым преобразователем 7 в цифровой код, который поступает в блок управления 8 и фиксируется там. В дальнейшем результаты измерений будут сравниваться с этим кодом.

Будем полагать предварительно, что изменение положения контролируемого объекта 2 происходит только в одной плоскости.

После калибровки система переводится в рабочий режим, в котором АЦП 7 производит периодические выборки значений величины усиленного фотоотклика КФУ. Если величина фотоотклика начала уменьшаться, то блок управления 8 реагирует на это как на информацию об изменении углового положения контролируемого объекта 2 и начинает отслеживать это смещение. Для этого блок управления 8 сравнивает вновь поступивший код с предыдущим и если он меньше, то начинает выполнять поворот платформы 4, на которой размещен КФУ 3. При этом в динамике отслеживается изменение значений поступающих кодов. Если в течение нескольких последовательных тактов поворота величина кода продолжает уменьшаться, то это означает, что платформа 4 поворачивается в противоположном направлении и направление поворота переключается на обратное.

В результате платформа 4 начинает отслеживать угловой сдвиг в положении контролируемого объекта 2 и это продолжается до тех пор, пока измеренное значение фотоотклика не примет максимальное значение.

Величина угла поворота при этом фиксируется блоком управления 8.

Отметим, что изменение положения контролируемого объекта 2 может происходить и в двух плоскостях. В этом случае несколько усложняется конструкция базовой поворотной платформы 4, которая также должна обеспечивать поворот в двух плоскостях, и изменяется алгоритм работы блока управления. Последний, сначала компенсирует угловой сдвиг в одной плоскости, а затем выполняет аналогичные действия в другой плоскости.

Список используемых источников

1. Куликовский К. Л., Шимаров А. И. Способ определения углового положения объектов // Изв. вузов СССР. Приборостроение. 1978. Т. 21. № 11. С. 116–120.
2. Устройство для измерения углов наклона / К. Л. Куликовский, В. Я. Купер, А. И. Шимаров // Б.И. 1979. № 16. А. с. 659901 СССР.
3. Шимаров А. И. Метод определения взаимного положения объектов // Изв. вузов СССР. Приборостроение. 1984. Т. 27. № 1. С. 89–93.
4. Feihu Xu, Xiongfeng Ma, Qiang Zhang, Hoi-Kwong Lo and Jian-Wei Pan. Secure quantum key distribution with realistic devices // Rev. Mod. Phys. 92. 2020. 025002 p.
5. Клемин С. и [др.] Кремниевый фотоэлектронный умножитель. Новые возможности // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2007. № 8. С. 80–86.
6. Гулаков И. Р., Зеневич А. О., Кочергина О. В. Исследование плоского угла зрения кремниевых фотоумножителей // Изв. вузов. Электроника. 2023. Т. 28. № 3. С. 360–367.
7. Влияние угла падения оптического излучения на характеристики кремниевого фотоумножителя / Гулаков И.Р., Зеневич А.О., Кочергина О.В. // Вести НАН РБ. 2023. Т.68. № 4. С.344–352

TRACKING SYSTEM WITH AN ANGULAR DISPLACEMENT SENSOR BASED ON A SILICON PHOTO-MULTIPLIER

Zenevich A., Kochergina O., Novikov E.
Belarusian State Academy of Telecommunications

Problems related to the development of methods and devices for remote control of the angular position of hard-to-reach objects are among the most relevant in a number of modern applications, for example, in positioning systems for various types of industrial equipment and robotic systems, when measuring the angles of deviation of object surfaces from the base level, profiles and curvature of surface parts in mechanical engineering. In this regard, the purpose of this study is to develop an angular displacement sensor based on a silicon photomultiplier for tracking systems.

Key words: *open optical communication systems, silicon photomultiplier, tracking systems*

УДК 519.7
ГРНТИ 49.37

ОСОБЕННОСТИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ В ОПОРНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Р. З. Ибрагимов[1], А. М. Ефименко[2]
[1]Сибирский государственный университет телекоммуникации и информатики,
[2]Колледж телекоммуникаций Московский технический университет связи и информатики

В условиях стремительного развития технологий передачи данных и увеличения информационных потоков опорные сети связи требуют внедрения современных методов повышения их надежности и скорости. Одной из ключевых технологий, обеспечивающих высокую устойчивость к ошибкам и качественную передачу данных, является помехоустойчивое кодирование. Данная технология позволяет эффективно компенсировать ошибки, вызванные внешними факторами, включая шумовые и оптические помехи, благодаря использованию дополнительных избыточных данных для коррекции. В работе рассматриваются современные особенности реализации помехоустойчивого кодирования в инфраструктуре опорных сетей, включая выбор расположения FEC-кодеров в структуре OTN-кадра, созданного на основе ASIC-архитектуры.

DWDM, FEC, когерентность, ASIC, OTN

Одной из ключевых задач современных опорных сетей связи является обеспечение надежной и качественной передачи данных, даже в условиях значительного влияния помех. Системы связи с канальной скоростью более 100 Гбит/с и выше активно используют технологию когерентного приема, позволяющую эффективно использовать выделенный спектральный диапазон за счет внедрения сложных форматов модуляции. При этом, данные форматы требуют защиту от помех, возникающих при передаче сигнала по оптическим каналам связи. Это требование, а также возросшие скорости передачи данных неизбежно приводят к необходимости использования эффективных методов помехоустойчивого кодирования [1, 2].

В настоящее время огромный рост трафика данных вынудил телекоммуникационные компании и поставщиков оборудования развернуть сверхширокополосные оптические системы, в которых оптические каналы поддерживают скорости передачи цифровых потоков от 100/400 Гбит/с до 800/1200 Гбит/с и выше. Преимущество современных когерентных систем достигается путем возможности изменения формата модуляции в транспондере, благодаря чему провайдер имеет возможность установить оп-

тимальный для своих задач баланс между дальностью работы DWDM-системы и скоростью передачи.

Достижение таких скоростей стало возможным за счет использования FEC с «мягкой» системой декодирования. Такие схемы позволяют достигать низких значений OSNR (порядка 10-12 дБ) при вероятности ошибок p=10-15 [3]. Более того, данные схемы декодирования успешно могут быть реализованы на базе как FGPA, так и ASICs. Последнее поколение FEC, основанное на сложных вычислительных алгоритмах дают прирост к выигрышу по OSNR, но требуют до 20 % объема передаваемого кадра OTN.

Хотя производители и стремятся к проприетарности своих алгоритмов, практически все FEC, используемые в DWDM-системах, базируются на применении небольшого числа основных кодов. Результатом является, как правило, высокая схожесть характеристик FEC-ов, но при этом каждый из таких проприетарных алгоритмов обрастает своими уникальными параметрами. Так, опорных сетях связи, производители транспондеров успешно применяют FEC с алгоритмами на базе LPDC-кодов [4, 5].

Основная концепция этих кодов заключается в сочетании блочного кодирования с рекурсивным сверточным кодированием. Данные типы кодов разработаны для итеративного декодирования, где процесс происходит последовательно для горизонтальных и вертикальных компонентов. В сетях с большой протяженностью оптических каналов со скоростью более 100 Гбит/с используются «лестничные» коды. Основной принцип данного кода заключается в объединении блочного кодирования с рекурсивным сверточным кодированием. Данный код построен для итерационного декодирования, при котором процесс декодирования осуществляется поочередно для горизонтальной и вертикальной составляющей.

Усложнение алгоритмов, с использованием каскадных схем кодирования обеспечивают высокую помехоустойчивость современных DWDM-систем. Каскадная схема представляет собой последовательное включение блоков внешнего и внутреннего кодирования.

В качестве внешнего кодирования используются производительные коды с малой плотностью проверки на четность, обладающие высокой избыточностью от 15 до 20 % в зависимости от кода. Данное семейство кодов весьма популярно и широко применяется в беспроводных системах связи. Для повышения производительности в качестве внутреннего кода могут быть использованы алгоритмы, основанные на «жестком» принятии решений (например, код Рида-Соломона или ITU-T G.709).

Одной из ключевых задач при оптимизации помехоустойчивого кодирования является определение оптимального расположения FEC в структуре OTN-кадра, сформированной на основе архитектуры ASIC. Правильное размещение кодеров FEC играет важную роль, поскольку от этого параметра зависит не только уровень избыточности, который может варьироваться в диапазоне от 20 до 25 %, но и общая производительность транспондера, включая его скорость передачи данных [5]. Таким образом, расположение кодеров прямо влияет на эффективность работы системы передачи.

Кроме того, важно учитывать, что применение унифицированных алгоритмов, основанных на данной технологии, открывает дополнительные возможности. Они позволяют реализовывать создание оптических каналов связи, которые оказываются особенно востребованными в сценариях, связанных с передачей данных на короткие расстояния. Одним из наиболее ярких примеров их практического использования является организация соединений между центрами обработки данных (ЦОД), где критически важны высокая скорость, надежность передачи информации и минимальная задержка. Унификация оптических модулей на базе алгоритмов кодирования CFEC и oFEC позволяют обеспечить уверенную передачу данных на скоростях до 400 Гбит/с с избыточностью порядка 15 %. Удачное применение таких алгоритмов способствует увеличению общей эффективности современных оптических сетей, удовлетворяя растущие требования к объемам и скорости передачи данных.

Список используемых источников

1. Maniloff E., Gareau S., Moyer M. 400G and beyond: Coherent evolution to high-capacity inter data center links // [Conference] 2019 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC) 2019: IEEE. PP. 1-3.

2. Fan Q., Lu C., Lau A. P. T. Combined neural network and adaptive DSP training for long-haul optical communications // Journal of Lightwave Technology. 2021. Т. 39. № 22. С. 7083–7091.

3. Ворфоломеев И., Молчанов И., Овсянкин С., Юдин В. Применение помехоустойчивого кодирования sd-fec в оптических транспортных сетях // Современное состояние и перспективы развития специальных систем радиосвязи и радиоуправления, 2018. С. 198-200.

4. Qiu J., Chen L., Liu S. A novel concatenated coding scheme: RS-SC-LDPC codes // IEEE Communications Letters, 2020. Т. 24. № 10. С. 2092–2095.

5. Smith B. P. [и др.] Staircase codes: FEC for 100 Gb/s OTN // Journal of Lightwave Technology, 2011. Т. 30. № 1. С. 110–117.

FEATURES OF FEC IN COHERENT BACKHAUL NETWORKS

Ibragimov R.[1], Efimenko A.[2]
[1]The Siberian State University of Telecommunications and Information Science
[2]College of Telecommunications Moscow Technical University of Communications and Informatics

Enhancing technological processes to improve the transmission capabilities of lasers, accurately detect optical gain noise, and utilize fibers with reduced loss levels serves as a significant catalyst for the advancement of coherent technology. Implementing FEC in modern transponders is an effective strategy for extending transmission distances. However, a key challenge remains in identifying the optimal coding scheme that ensures the highest performance of DWDM systems.

Key words: *DWDM, FEC, decode, coherent, the proxy*

УДК 654.026
ГРНТИ 49.01.11

К ВОПРОСУ ВОЗРАСТАНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ОТОБРАЖЕНИЯ РОЕВ БПЛА

В. Г. Иванов, Д. С. Алленов, В. В. Чабаненко, В. П. Михайлов

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье рассмотрена разработка современной модели эргономичного отображения взаимодействия человека и роя БЛА в информационных системах управления мониторинга при проведении экспериментов в лабораторных и полевых условиях, в результате которых были определены степень осведомленности о текущей и предполагаемой ситуации. Это позволило в кратчайшие сроки оператору принимать своевременные решения на управление БЛА.

визуализация БЛА оператором, уровень масштабирования, задача мониторинга, информационные системы, вычислительные сети

Введение

Современные условия нового технологического мира требуют по-новому решать вопросы визуализации роя БЛА (РБЛА), его поведение без излишней перегруженности изображения ситуации [1]. Для примера визуализации в качестве основного функционала была выбрана задача мониторинга [2]. Полученная информация может быть использована непосредственно для маркировки или отслеживания целей, а также для распознавания сторонних сенсоров или БЛА.

В условиях мониторинга, резко возрастающая когнитивная нагрузка на оператора может привести к потере ситуационной осведомленности [3]. Чтобы исключить это, для создания понятной визуализации РБЛА необходимо предоставить оператору дополнительную информацию о картах (типы карт, топография, мини-карта), о силах (тип, размер, принадлежность), по управлению задачами (задача, подзадача, взаимодействие, планирование), о диалоге (сообщения, предупреждения, сигналы), о состоянии беспилотных систем (дальность, расширение, положение, полезная нагрузка, связь), о характеристиках беспилотных систем.

С учетом сказанного выше, можно определить *четыре макета визуализации РБЛА* при помощи специализированной программы Skytango Pro, основанная на использовании уровней управления, одного роя, области работы БЛА, и уровней масштабирования [4].

На рисунке 1 показано, визуализация РБЛА оператором команды с отображением размера команды, полезной нагрузки и прогнозируемого статуса.

Рис. 1. Представление РБЛА, основанное на уровнях управления

Второй макет визуализации (рис. 2) позволяет представить РБЛА как единое целое, для управления всем роем с помощью высокоуровневых команд.

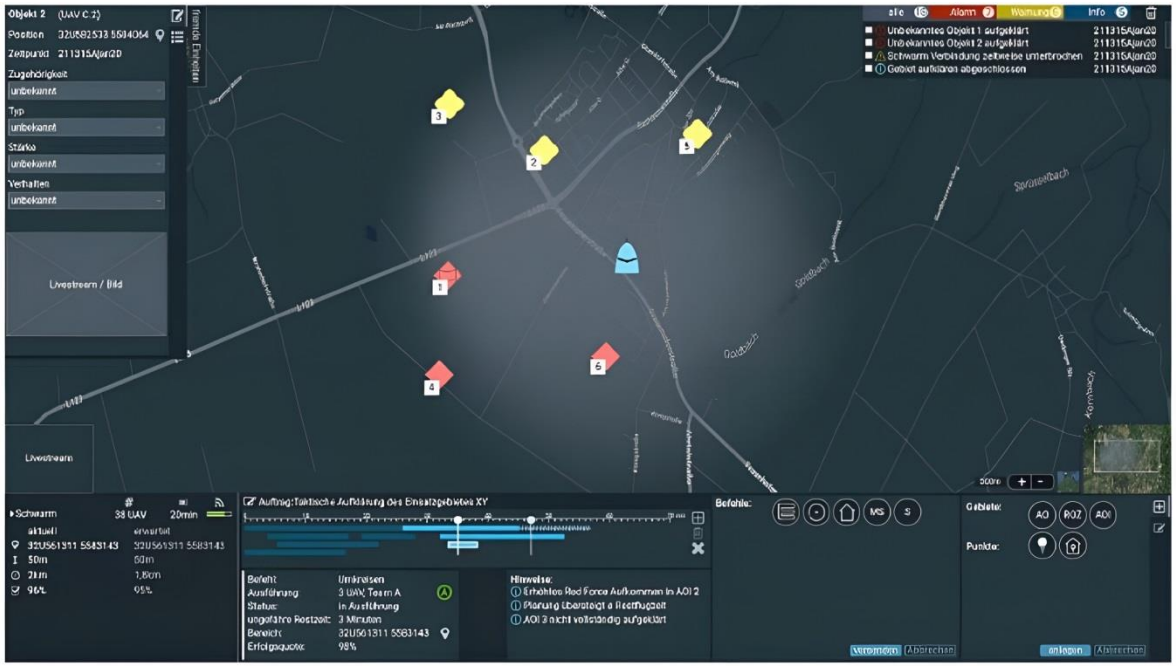


Рис. 2. Представление на основе РБЛА

При отображении на основе области работы БЛА оператор взаимодействует с определенной областью (рис. 3). Отображается положение роя и его действия.

Рис. 3. Представление на основе области работы БЛА

При использовании уровней масштабирования (рис. 4), отображается количество единиц (рой, подрой, отдельные единицы) в зависимости от приближения изображения ситуации.

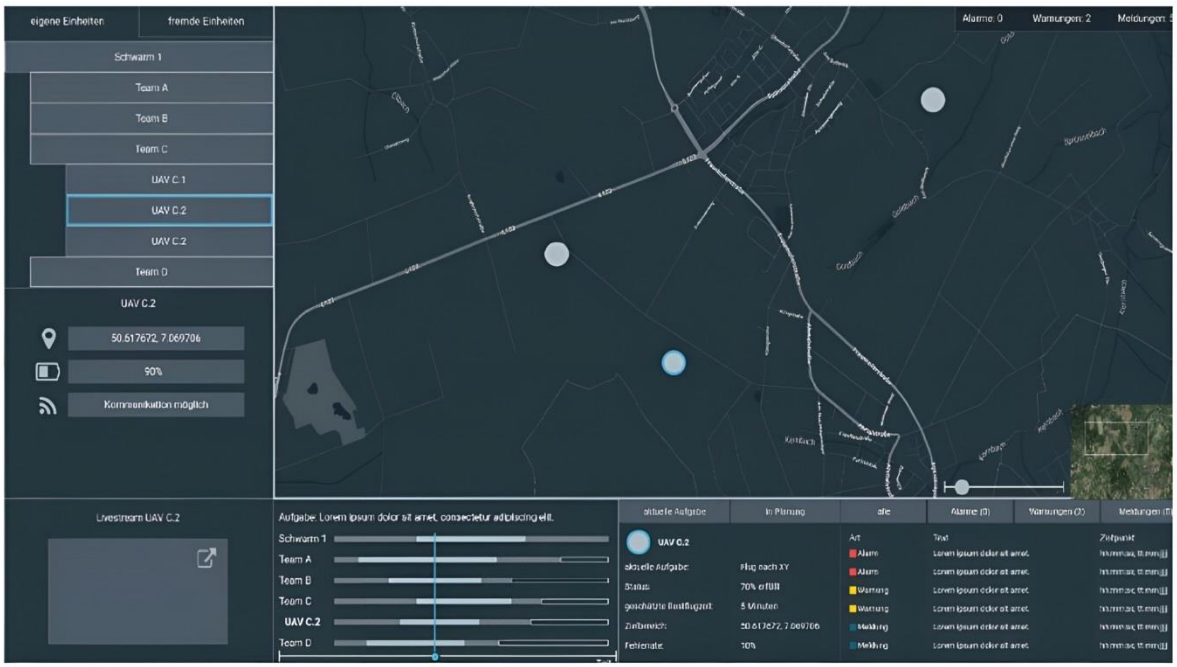


Рис. 4. Представление на основе уровней масштабирования

Таким образом, в рассмотренных выше макетах визуализации ситуации, информацию можно представить в виде шести компонентов (рис. 5).

1. Карта (на основе Google Maps – 2021 мини-карта), с функцией увеличения или уменьшения масштаба, с отображением типа и принадлежности, дополнительной информацией, а также полученных данными неизвестных объектов.

2. Управление территорией. Создание различных зон операций мониторинга, точек интереса, определение их как активные или запланированные для проведения мониторинга, с возможностью редактирования.

3. Управление задачами. При этом отображается временная шкала со всеми запланированными, текущими и выполненными задачами.

4. Информация о состоянии. Отображается состояние роя или отдельного БЛА, отображение текущего и прогнозируемого состояния.

5. Список. Все полученные данные отображаются в отдельном списке, с возможностью их классификации.

6. Диалоговое окно. Отображаются все входящие предупреждения и сообщения с возможной их детализации.

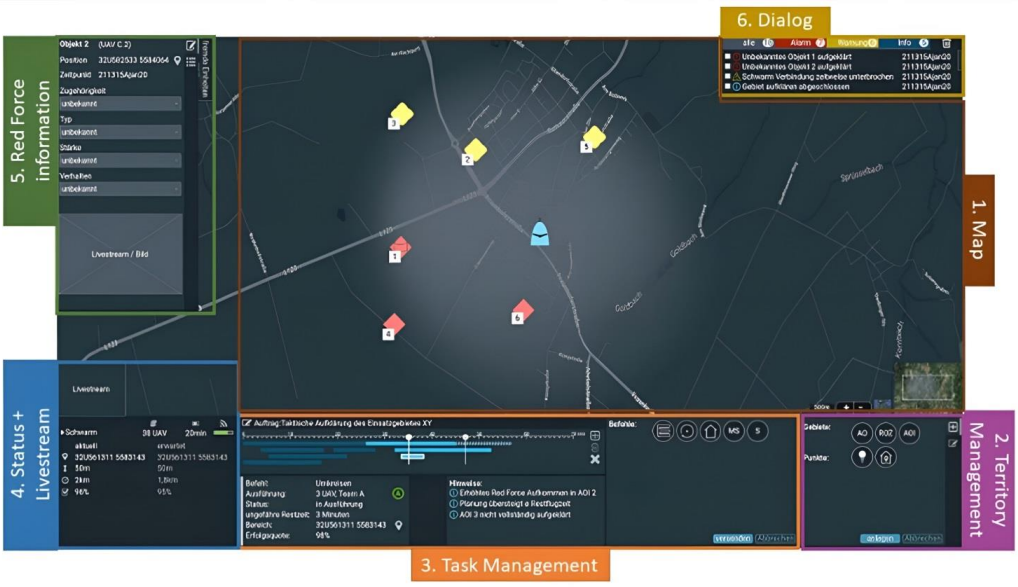


Рис. 5. Компоненты визуализации РБЛА

Таким образом, описанные выше варианты визуализации РБЛА целесообразно использовать при разработке современной модели эргономичного отображения взаимодействия человека и роя в информационных системах управления мониторингом при проведении экспериментов в лабораторных и полевых условиях. В результате которых, можно будет определить степень осведомленности о текущей и предполагаемой ситуации, что в свою очередь, позволит в кратчайшие сроки операторам принимать своевременные и правильные решения.

Заключение

В настоящее время широкое распространение получили информационные системы, использующиеся как системы мониторинга и управления различными системами РБЛА, что приводит к возрастанию нагрузки на них. Поэтому все больше растет значение учета состояния серверов в вычислительном комплексе. Для этих целей между серверами системы используют механизм распределения нагрузки, который называется балансировкой. Процесс перенаправления данных от операторов информационных систем на определенный узел системы позволяет обеспечить процесс балансировки нагрузки информационной системы. Поэтому задача распределения нагрузки в информационных системах управления и мониторингом является наиболее актуальной.

Список используемых источников

1. Walker P., Nunnally S., Lewis M., Kolling A., Chakraborty N., Sycara K. Neglect benevolence in human control of swarms in the presence of latency // Proceedings of the International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC, Seoul, South Korea, 14–17 October 2012). IEEE, 2012. PP. 3009–3014. DOI: 10.1109/ICSMC.2012.6378253

2. Barca J. C., Sekercioglu Y. A. Swarm robotics reviewed // Robotica. 2013. Vol. 31. Iss. 3. PP. 345–359. DOI:10.1017/S026357471200032X

3. Aubert T., Corjon J., Gautreault F., Laurent M., Corjon J., Causse M., Dehais F. Improving situation awareness of a single human operator interacting with multiple unmanned vehicles: first results // Proceedings of the HOMOUS'10 conference –- HUMans Operating Unmanned Systems (Toulouse, France, 26–27 April 2010). 2010.

4. Patel J., Pinciroli C. Improving Human Performance Using Mixed Granularity of Control in Multi-Human Multi-Robot Interaction // Proceedings of the 29th International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN, Naples, Italy, 31 August 2020 – 04 September 2020). IEEE, 2020. PP. 1135–1142. DOI: 10.1109/RO-MAN47096.2020.9223553

TO THE ISSUE OF LOAD GROWTH BETWEEN COMPUTATIONAL NETWORKS IN INFORMATION DISPLAY SYSTEMS OF UAV SWARMS

Ivanov V., Allenov D., Chabanenko V., Mikhailov V.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The paper considers the development of a modern model of ergonomic display of human and UAV swarm interaction in information monitoring control systems for conducting experiments in laboratory and field conditions. As a result of which, the degree of awareness of the current and anticipated situation was determined, which allowed the operator to make timely decisions on UAV control in the shortest possible time.

Key words: *UAV operator visualisation, scaling level, monitoring task, information systems, computing networks*

УДК 654.078
ГРНТИ 49.44.31

ЛАЗЕРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ С БЛА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Иванов В. Г., Алленов Д. С., Чабаненко В. В., Михайлов В. П.

Департамент информационных систем МО РФ

Информационные системы служат фундаментом для организации управления и являются неотъемлемым компонентом всех управляющих структур. Их ключевая функция заключается в сборе, обработке и передаче данных между источниками и получателями информации различных уровней. При создании информационных систем специального назначения ключевыми показателями эффективности чаще всего являются скорость и надежность передачи информации. Для информационных систем ситуационной осведомленности беспилотные летательные аппараты (БЛА) сегодня стали одним из важнейших источников данных. Современные беспилотные аппараты продемонстрировали высокую степень универсальности и активно применяются в наиболее развитых государствах. Особое значение приобретают средства связи, поскольку ключевые управляющие центры, выступающие в роли потребителей данных, расположены на земной поверхности. На текущий момент взаимодействие между БЛА и наземными пунктами управления осуществляется посредством радиоканалов и спутниковых систем передачи информации. Оба этих типа связи обеспечивают связь на больших расстояниях, но имеют низкую пропускную способность. Применение лазерной связи позволяет значительно повысит скорость передачи данных, что в свою очередь расширяет функциональность БЛА.

лазерные коммуникации, модулирующий ретрорефлектор, микроэлектромеханические системы, информационные системы, передача данных.

Использование оптических частот в системах управления беспилотными летательными аппаратами представляет собой значительный технологический прорыв. Данный подход позволяет перейти от мегагерцового диапазона к сотням терагерц, уменьшая расходимость сигнала в 100 000 раз и создавая канал связи, устойчивый к воздействию радиоэлектронных помех [1].

Сниженная расходимость излучения обеспечивает:

– увеличение мощности принимаемого сигнала;
– улучшение соотношения сигнал/шум;
– повышение скорости передачи данных;
– снижение количества ошибок при передаче.

Ключевыми преимуществами лазерной коммуникации являются:

– повышенная безопасность – луч невозможно перехватить незаметно, так как любое вмешательство приводит к заметному ослаблению сигнала;

– энергоэффективность – снижение потребления энергии коммуникационным оборудованием;
– компактность – уменьшение размеров и массы коммуникационных терминалов.

Данная технология открывает новые возможности для организации защищенных каналов связи с беспилотными аппаратами [2].

В публикации рассматривается процесс создания системы атмосферной лазерной связи, представляющей собой усовершенствованную замену радиоканалам обмена данными между беспилотными летательными аппаратами и наземными пунктами управления. Упомянутые исследования осуществляются в контексте программы SINTONIA, руководство которой осуществляется европейским отделением Boeing Research and Technology (BR&TE). Основная цель программы – это развитие испанских технологических решений в сфере беспилотной авиации.

Программа SINTONIA ставит перед собой две основные задачи: разработку экологически чистых технологических решений и их адаптацию для последующего внедрения в системы беспилотных летательных аппаратов. Технология оптической связи полностью соответствует заявленным требованиям, демонстрируя значительные преимущества перед традиционными системами радиосвязи.

Для решения задачи оптимизации телекоммуникационной полезной нагрузки был предложен инновационный подход – применение модулирующего ретрорефлектора (МРР) в качестве бортового коммуникационного терминала для БЛА (рисунок 1). Данное устройство интегрирует функции уголкового отражателя и модулятора, обеспечивая возврат светового сигнала от дистанционного лазерного источника без необходимости дополнительных систем наведения на борту, с одновременной модуляцией интенсивности отраженного излучения.

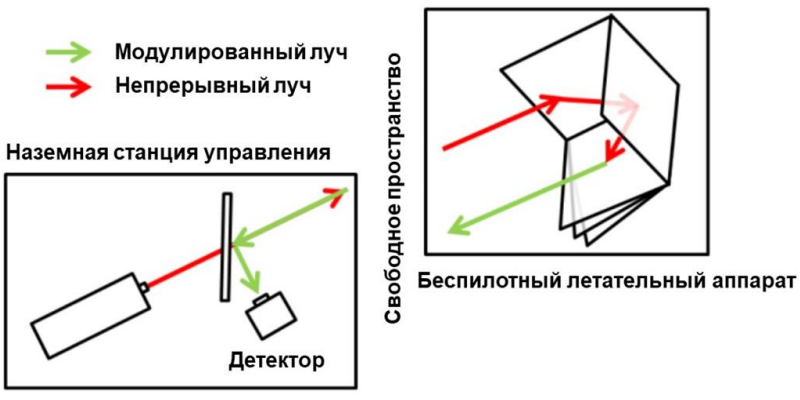


Рис. 1. Принцип модулирующего ретрорефлектора

Ключевые преимущества такого технического решения заключаются в возможности полного исключения лазерного передатчика и системы захвата, сопровождения и наведения (ЗСН) на одном из концов коммуникационного канала (со стороны БЛА). Это приводит к существенному снижению энергопотребления, а также уменьшению габаритов и массы бортового оборудования. Основная нагрузка при таком подходе переносится на наземный сегмент, при этом сама подсистема ЗСН также подвергается значительному упрощению. Это становится возможным благодаря тому, что МРР выполняет функцию опорной точки наведения, автоматически возвращая падающий лазерный пучок в направлении излучателя.

Несмотря на большой потенциал этой технологии для коммуникации БЛА, исследования быстродействующих оптических модуляторов для МРР все еще остаются на низком уровне, поэтому скорости передачи данных сопоставимы с радиочастотными. Тем не менее, коммуникационная нагрузка становится меньше, легче и требует меньше энергии. В рамках программы SINTONIA будет продемонстрирована жизнеспособность лазерной связи с минимальной полезной нагрузкой на борту БЛА – для этого будет использован МРР на базе микроэлектромеханических систем (МЭМС) с скоростью порядка сотен кбит/с – а также высокоскоростные коммуникации с БЛА – для которых наземный лазерный передатчик будет модулирован по схеме «On-Off Keying» (OOK) на скорости порядка сотен Мбит/с [3–5].

МЭМС-модулятор представляет собой отражающую дифракционную решетку с регулируемой глубиной бороздок (рисунок 2). Он выполняет роль одного из трех зеркал, составляющих ретрорефлектор, и способен модулировать непрерывный лазерный луч, переключаясь между неактивным состоянием плоского зеркала и активным дифракционным состоянием.

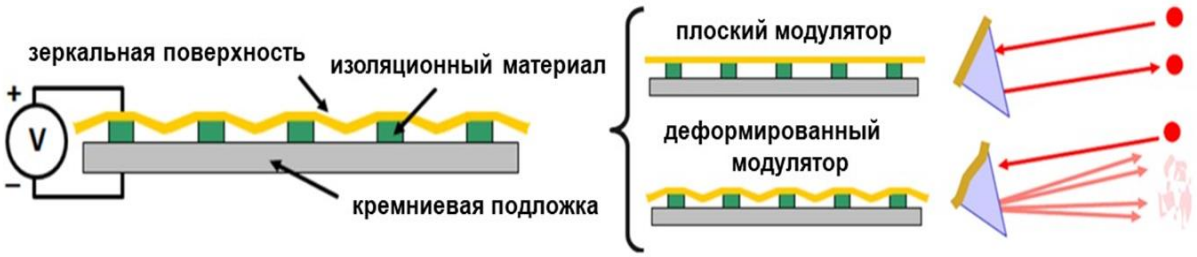


Рис. 2. Модулирующий ретрорефлектор на основе оптического МЭМС-модулятора

Система захвата, сопровождения и наведения является важнейшим компонентом всей конструкции. Ее основу составляет двухосный карданный механизм, отвечающий за грубое сопровождение цели, дополненный быстрым рулевым зеркалом (БРЗ) для прецизионного позиционирования. Карданная платформа осуществляет постоянное отслеживание траектории «беспилотника», используя данные спутниковой навигации, при этом излучаемый лазерный маяк имеет расчетную расходимость пучка, компенсирующую потенциальные погрешности GPS-координат. Это гарантирует постоянное освещение БЛА излучением от инфракрасного маяка (ИК маяка).

Система функционирует за счет свойств ретрорефлектора непрерывно отражать сигнал маяка, который регистрируется инфракрасной камерой, что позволяет определять точное местоположение летательного аппарата. Для передачи данных применяется отдельный лазерный передатчик с существенно более узкой диаграммой направленности. Его излучение формируется телескопической системой, положение которой корректируется быстрым рулевым зеркалом. Алгоритм точного наведения базируется на строгой зависимости между координатами светового пятна маяка в поле зрения камеры и требуемыми углами поворота БРЗ для обеспечения точного попадания информационного лазерного пучка на отражающий модулятор.

Такая схема позволяет поддерживать точное наведение в реальном времени с БЛА в непрерывном режиме. Техника использования ИК маяка, описанная выше, является инновационным методом отслеживания, который имеет потенциал для повышения разрешения систем отслеживания БЛА, даже если они не связаны с оптическими коммуникациями. Такая система будет основана на ретрорефлекторе или массиве ретрорефлекторов на борту БЛА и наземной станции, состоящей из поворотно-наклонного подвеса с GPS-поддержкой, несущего ИК передатчик и высокоскоростную камеру ИК-диапазона. Такая простая система сможет повысить точность отслеживания самолетов по сравнению с нынешними системами с многолучевыми антеннами на основе радиочастот.

Оптимизация параметров излучения требует тщательного расчета диаграммы направленности инфракрасного маяка, достигающего беспилотного аппарата. Для коммуникационного лазера необходимо найти баланс между двумя противоречивыми требованиями: достаточной узостью пучка для обеспечения требуемого соотношения сигнал-шум при прохождении двойного расстояния до ретрорефлектора и обратно, и достаточной шириной для компенсации маневров БЛА, не устраняемых системой быстрых рулевых зеркал.

При проектировании системы в части определения ширины луча учитываются три ключевых фактора:

– максимальный угол отклонения лазерного луча БРЗ перед входом в телескопическую систему;
– предельно достижимая степень коллимации излучения;
– обеспечение максимальной дальности связи в системе.

Для обеспечения стабильного диаметра светового пятна на борту БЛА при изменяющейся дистанции связи была специально разработана адаптивная система управления расходимостью лазерного пучка (рисунок 3). Данное решение позволяет поддерживать постоянные условия освещения «беспилотника» независимо от удаленности наземного терминала.

Рис. 3. Управление расхождением луча обеспечивает постоянную ширину луча независимо от расстояния

Применение модулирующего ретрорефлектора в качестве передающего элемента оптической линии связи имеет важную особенность – совпадение оптических осей для падающего и отраженного излучения несмотря на то, что диаметр светового пучка всегда превышает апертуру отражающего элемента. Наиболее очевидный способ организации приема отраженного сигнала предполагает пространственное смещение приемного модуля относительно основной оптической оси, однако такой подход приводит к существенным потерям интенсивности принимаемого излучения.

Инновационное решение, разработанное в рамках данного проекта, основано на создании двух независимых оптических трактов в пределах единой физической линии передачи. Техническая реализация данного подхода использует свойство поляризации света: передача осуществляется в линейно-поляризованном состоянии, тогда как приемная часть системы настроена на детектирование излучения с ортогональной поляризацией. Это позволяет перенаправлять отраженный сигнал к фотоприемнику без изменения его пространственного положения и без существенного снижения мощности принимаемого излучения.

Заключение

Таким образом, на сегодняшний день наблюдается стремительное развитие лазерных коммуникаций в информационных системах специального назначения, позволяет повысить объемы и скорость предаваемой информации, а также обеспечить надежность каналов связи к воздействию РЭБ и их скрытность от средств радиотехнической разведки.

Список используемых источников

1. Остин Р. Беспилотные воздушные системы: БПЛА, проектирование, разработка и внедрение. Уилтшир John Wiley & Sons Ltd, 2010. С. 143–154. ISBN 978-0-470-05819-0.

2. Хеммати Х. Лазерная связь на околоземной орбите. Бока-Ратон CRC Press, 2009. С. 1–28. ISBN: 978-1-498-77740-7.

3. Boston Micromachines Corporation. Оптический МЭМС-модулятор. URL: https://bostonmicromachines.com/products/deformable-mirrors/standard-deformable-mirrors/ (дата обращения 20.02.2025).

4. Карраско-Касадо А., Вергаз Р., Санчес-Пена Д. М., Отон Э., Гедей М. А., Отен Д. М. Проектирование оптической системы связи воздух-земля в свободном космосе с низким уровнем воздействия и первые результаты // Международная конференция 2011 года по космическим оптическим системам и приложениям (ICSOS). Санта-Моника, Калифорния, США, 2011. С. 109-112. DOI: 10.1109/ICSOS.2011.5783652.

5. Карраско-Касадо А., Вергаз Р., Санчес-Пена Д. М. Проектирование и начальная разработка терминала для беспилотных летательных аппаратов и наземной станции лазерной связи // SPIE Security+Defence. Материалы конференции. Прага, 2011.

LASER COMMUNICATIONS WITH UAVS IN THE CONSTRUCTION OF SPECIAL-PURPOSE INFORMATION SYSTEMS

Ivanov V., Allenov D., Chabanenko V., Mikhailov V.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

Information systems form the foundation of management organization and serve as an integral component of all control structures. Their primary function involves collecting, processing, and transmitting data between information sources and recipients at various levels.

For specialized information systems, the key performance indicators are typically data transmission speed and reliability. In situational awareness systems, unmanned aerial vehicles (UAVs) have become one of the most critical data sources today. Modern drones have demonstrated high versatility and are actively employed by the most technologically advanced nations.

Communication systems are of particular importance since key decision-making centers–which act as data consumers–are ground-based. Currently, UAVs interact with ground control stations via radio links and satellite data transmission systems. While both methods provide long-range connectivity, they suffer from limited bandwidth.

The implementation of laser communication significantly enhances data transfer rates, thereby expanding the operational capabilities of UAVs.

Key words: *laser communications, modulating retroreflector, microelectromechanical systems, information systems, data transmission*

УДК 621.391
ГРНТИ 49.37.31

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЛОКА СИНХРОНИЗАЦИИ В СОСТАВЕ МУЛЬТИПЛЕКСОРА ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

А. К. Канаев, Ф. А. Прошин

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Цель данной работы заключается в разработке модели функционирования блока синхронизации мультиплексора оптической транспортной сети в условиях пропадания основного источника синхронизирующих сигналов, что позволит определить существенные подпроцессы, которые влияют на процесс восстановления нормального режима синхронизации. При разработке модели использован метод топологического преобразования стохастических сетей. Получены вероятностно-временные характеристики процесса восстановления режима устойчивой синхронизации. Разработанная модель может быть использована для анализа работы узлов OTN при проектировании сети в целом или сети синхронизации поверх существующей физической топологии.

оптическая транспортная сеть, OTN, частотная и временная синхронизация, блок синхронизации мультиплексора OTN, ТПСС

Синхронизация в транспортных сетях требует серьезного внимания вне зависимости от используемой сетевой технологии. Классические сети СЦИ функционируют благодаря встроенной подсистеме ТСС, наиболее полно стандартизованной и проверенной временем [1]. Транспортные сети, построенные на основе протокола Ethernet, в процессе развития и ужесточения требований со стороны потребителей требовали как синхронизации по частоте, так и синхронизации по фазе и времени [2]. Использование технологии оптической транспортной сети (OTN) для построения транспортного уровня становится одним из приоритетных решений для операторов связи, но принцип асинхронности данной технологии может существенно ограничить сферы применения, так как большинству потребителей и конечных приложений требуется частотная и временная синхронизация. Вопрос о необходимости передачи высокоточной синхронизации на уровне OTN поднимается ведущими производителями телекоммуникационного оборудования [3], а также проводятся отдельные эксперименты [4]. Более подробно про необходимость формирования сети синхронизации в OTN можно найти в [5], где также сказано, что в составе оборудования необходимо предусмотреть блок, который позволит обеспечить функциональность в части тактовой (частотной) и временной синхронизации.

Стабильность и эффективность системы синхронизации зависит от каждого узла и от архитектуры сети в целом. Следовательно, необходимо проанализировать процесс восстановления устойчивой синхронизации при нарушении нормального режима функционирования. На рис. 1 приводится блок-схема, которая поясняет логику функционирования предлагаемого [5] блока синхронизации, который поддерживает тактовую синхронизацию на физическом уровне посредством синхронного Ethernet и временную на уровне протокола PTP.

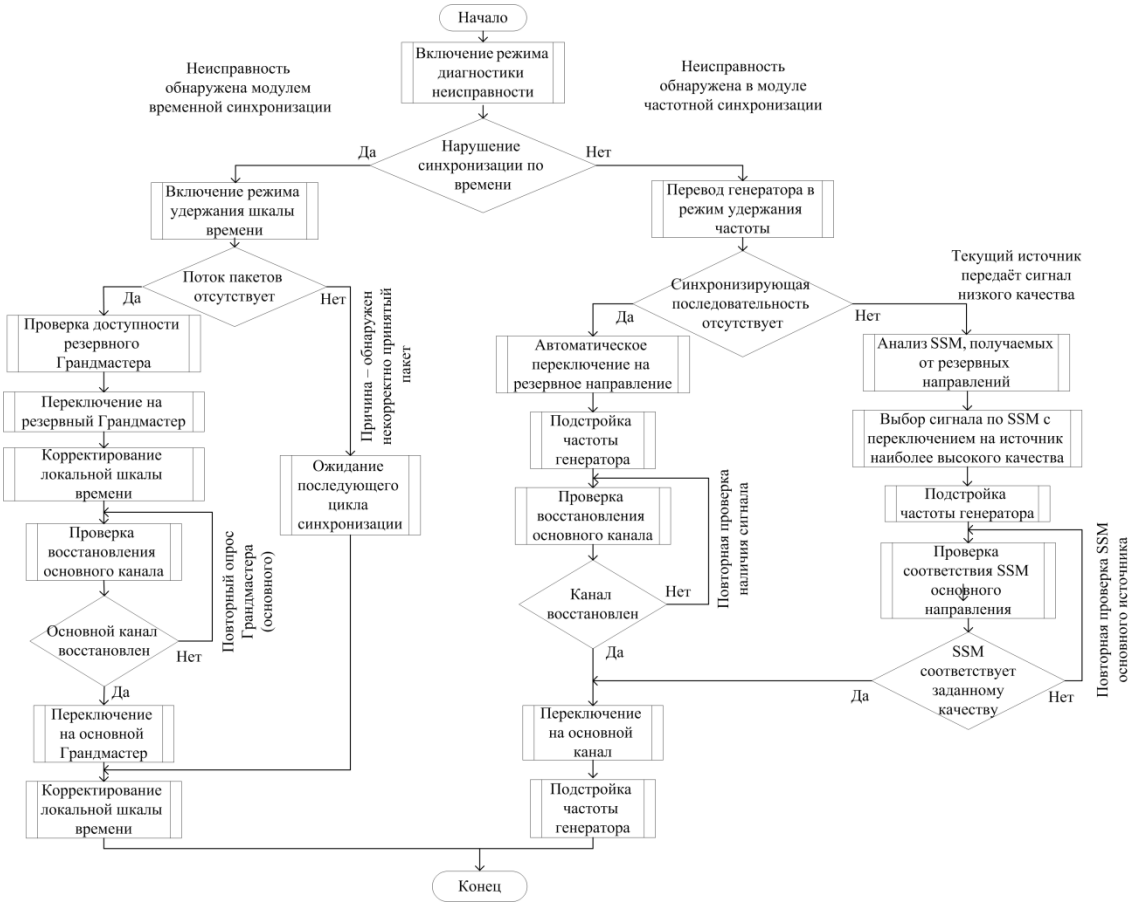


Рис. 1. Блок-схема процесса восстановления нормального режима функционирования

Как видно из рис. 1, блок синхронизации вначале определяет причину: отсутствие синхронизирующей последовательности или пропадание пакетов, которые содержат метки времени. Причина пропадания временной синхронизации может заключаться в отсутствии потока пакетов, что может возникнуть в связи с выходом из строя текущего Грандмастера домена или из-за нарушения процессов прохождения пакетов по сети. При этом механизмы перестроения и переключения на резервный Грандмастер должны обеспечивать непрерывность шкалы времени и постоянный контроль восстановления основного источника с целью возврата к режиму нормальной синхрони-

зации. Также могут возникать ошибки при приеме отдельного пакета, что требует его отбрасывания и начала повторного цикла обмена через заданный интервал времени.

Нарушение тактовой синхронизации возможно при пропадании основного канала синхронизации (повреждение линии, выход из строя вышестоящего источника) или при снижении качества сигнала, используемого до момента обнаружения в качестве приоритетного источника. Механизмы защитного переключения должны обеспечивать минимальные скачки частоты при переключении, которые не оказывают значительного влияния на качество синхронизации.

При разработке модели применен метод топологического преобразования стохастических сетей (ТПСС) [6]. На рис. 2 изображена стохастическая сеть, построенная на основе блок-схемы (рис. 1), исходные данные приводятся в таблице 1

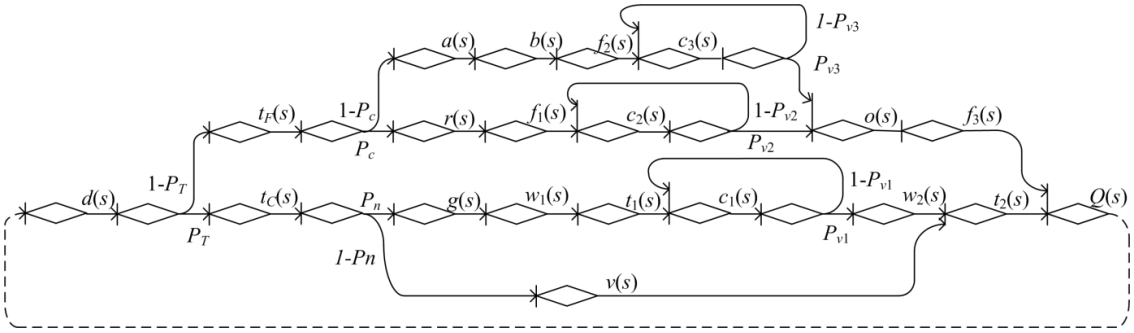


Рис. 2. Стохастическая сеть

Каждая ветвь f(s) представляет преобразование Лапласа для функции распределения времени F(t), которое определяется по формуле (1):

$$f(s) = \int_0^\infty e^{-st} d[F(t)], \quad (1)$$

где $F(t) = 1 - e^{-ft}$ – функция распределения времени реализации процесса.

Для упрощения произведена декомпозиция на эквивалентные функции Q_1 и Q_2, определяемые по формулам (2) и (3), соответственно:

$$Q_1(s) = d(s)P_t t_c(s) \cdot \left(\frac{P_n g(s) w_1(s) t_1(s) c_1(s) P_{v1} w_2(s)}{1 - c_1(s) \cdot (1 - P_{v1})} + (1 - P_n) v(s) \right) t_2(s) \quad (2)$$

$$Q_2(s) = d(s)(1 - P_t) t_f(s) \cdot \left(\frac{(1 - P_c) \cdot a(s) b(s) f_2(s) c_3(s) P_{v3}}{1 - c_3(s) \cdot (1 - P_{v3})} + \frac{P_c r(s) f_1(s) c_2(s) P_{v2}}{1 - c_2(s) \cdot (1 - P_{v2})} \right) o(s) f_3(s) \quad (3)$$

Результирующая эквивалентная функция стохастической сети определяется по формуле (4):

$$Q(s) = Q_1(s) + Q_2(s) \quad (4)$$

ТАБЛИЦА 1. Исходные данные для моделирования

№	Подпроцесс в составе процесса функционирования блока синхронизации	Обозначение	Время (вероятность) реализации
1	Инициализация режима диагностики и определение класса неисправности	$d(s)$	10 мкс
2	Вероятность наличия неисправности в модуле временной синхронизации	P_t	0,5
3	Включение режима удержания шкалы времени	$t_C(s)$	5 мкс
4	Вероятность пропадания потока пакетов PTP	P_n	0,8
5	Проверка доступности резервного Грандмастера	$g(s)$	15 мкс
6	Переключение на резервный Грандмастер	$w_1(s)$	1 мкс
7	Корректировка шкалы времени от резервного Грандмастера	$t_1(s)$	16 мкс
8	Проверка восстановления основного канала	$c_1(s)$	1 мкс
9	Вероятность восстановления потока пакетов от основного Грандмастера	P_{v1}	0,1
10	Переключение на основной Грандмастер	$w_2(s)$	1 мкс
11	Корректировка шкалы времени от основного Грандмастера	$t_2(s)$	16 мкс
12	Отбрасывание пакета, ожидание последующего цикла синхронизации	$v(s)$	20 мкс
13	Перевод генератора в режим удержания частоты	$t_F(s)$	0,5 мкс
14	Вероятность пропадания сигнала на входном интерфейсе	P_c	0,7
15	Автоматическое переключение на резервное направление синхронизации	$r(s)$	0,5 мкс
16	Подстройка частоты генератора под резервный источник	$f_1(s)$	5 мкс
17	Проверка восстановления основного направления	$c_2(s)$	1 мкс
18	Вероятность восстановления синхронизации по основному направлению	P_{v2}	0,2
19	Анализ SSM в пакетах, которые получены от других направлений	$a(s)$	5 мкс
20	Выбор наилучшего по качеству источника, переключение на него	$b(s)$	1 мкс

№	Подпроцесс в составе процесса функционирования блока синхронизации	Обозначение	Время (вероятность) реализации
21	Подстройка частоты генератора под выбранный источник	$f_2(s)$	5 мкс
22	Проверка SSM основного источника	$c_3(s)$	1 мкс
23	Вероятность восстановления качества основного источника	P_{v3}	0,3
24	Переключение на основное направление синхронизации	$o(s)$	0,5 мкс
25	Подстройка частоты генератора под основной источник	$f_3(s)$	5 мкс

Результирующая функция распределения времени реализации процесса получена с использованием метода двухмоментной аппроксимации (5):

$$F(t) = \begin{cases} 0\,, t < 0 \\ \int_0^t \frac{\mu^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\mu x} dx, t \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

где, α – параметр формы, μ – параметр масштаба неполной Гамма-функции.

На рис. 3 показаны результаты моделирования при различных значениях вероятности P_t (а) проблем с временной синхронизацией, а также времени t_{GM} (б) проверки доступности резервного Грандмастера.

Как видно из рис. 3*а*, при увеличении вероятности того, что неисправность связана с нарушением временной синхронизации, среднее время восстановления нормального режима увеличивается до от 40,175 до 56,875 мкс. Если увеличивается время проверки доступности резервного Грандмастера, то среднее время восстановления также увеличивается от 46,535 до 50,525 мкс.

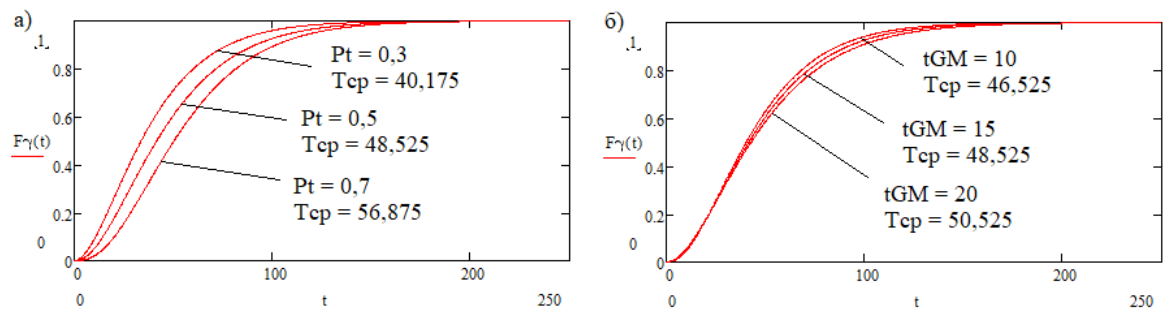


Рис. 3. Функции распределения времени реализации процесса восстановления нормального режима синхронизации: а) при изменении вероятности P_t; б) при изменении времени t_{GM}

Полученная математическая модель позволяет представить процесс функционирования блока мультиплексора как совокупность подпроцессов, влияющих на общий результат реализации цикла восстановления. Декомпозиция сложного процесса позволяет проанализировать, как влияет каждый подпроцесс на среднее время его реализации с целью выявления наиболее существенных параметров, которые необходимо учитывать первостепенно. Предложенная модель может быть использована для анализа работоспособности узлов OTN на этапе проектирования сети синхронизации, а также для настройки параметров работы действующего оборудования при модернизации или изменении структуры сети.

Список используемых источников

1. Давыдкин П. Н., Колтунов М. Н., Рыжков А. В. Тактовая сетевая синхронизация / под ред. М. Н. Колтунова. М.: Эко-Трендз, 2004. 205 с.: ил. ISBN 5-88405-058-5.

2. Рыжков, А. В. Частотно-временное обеспечение в сетях электросвязи: Учеб. пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2018. 270 с.

3. Transport of precise time over optical channels, Oscilloquartz (ADVA), 2020.

4. M. Weiss, L. Cosart, J. Hanssen, and J. Yao, “Precision Time Transfer using IEEE 1588 over OTN through a Commercial Optical Telecommunications Network”, in Proc. IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control, and Communication (ISPCS), Sep. 2016, doi: 10.1109/ISPCS.2016.7579503.

5. Прошин Ф. А. Предложения по формированию сетевой синхронизации в оптической транспортной сети и построению блока синхронизации мультиплексора OTN // Информация и Космос. 2024. № 4. С. 28–34.

6. Привалов А. А. Метод топологического преобразования стохастических сетей и его использование для анализа систем связи ВМФ / под ред. проф. Чемиренко В. П. СПб: ВМА, 2000. 166 с., ил.

A MATHEMATICAL MODEL OF SYNCHRONIZATION BLOCK FUNCTIONING WITHIN OTN MULTIPLEXER

Kanaev A., Proshin F.
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

The purpose of this work is to develop a model which describes functioning of a synchronization block within OTN multiplexer during a period of synchronization source fail that makes it possible to evaluate significant subprocesses for returning to normal state. The method of topological transformation of stochastic networks is chosen for developing the model. As the result the probabilistic-temporal characteristics of normal stable synchronization recovering are received. The model can be used for analyzing functioning of OTN nodes in networks under development or when it is necessary to design the synchronization network over the given transport network.

Key words: *optical transport network, OTN, frequency and time synchronization, OTN multiplexer synchronization block, topological transformation of stochastic networks*

УДК 535.14
ГРНТИ 27.35.57, 29.31.27

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ СИММЕТРИИ БИФОТОННЫХ СОСТОЯНИЙ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КВАНТОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ

А. Д. Киселев, Г. П. Мирошниченко, М. С. Гусельников, А. В. Козубов, А. А. Гайдаш

Национальный исследовательский университет ИТМО

Квантовый оптический гироскоп является одним из наиболее перспективных кандидатов на роль многофункционального квантового сенсора. Его уникальные характеристики определяются эффектами квантовой запутанности и антигруппировки, которые наблюдаются только для квантовых состояний. В недавних работах взаимосвязь этих двух эффектов было предложено использовать для контроля степени запутанности квантовых состояний и интерферометрических измерений. Однако, в настоящий момент не до конца ясна физическая природа корреляций, существующих между эффектами антигруппировки и квантовой запутанности, также как и возможность их применения для целей квантовой сенсорики. В настоящей работе показано, что необходимым условием для антигруппировки бифотонного состояния является не только наличие квантовой запутанности, но и наличие у бифотонной спектральной функции специфических симметрийных свойств.

квантовые оптические гироскопы, эффект антигруппировки, квантовая запутанность, бифотонные состояния

Принципиальную схему квантового оптического гироскопа (КОГ), использующего бифотонные состояния, можно представить следующим образом. Нелинейный кристалл накачивается излучением с центральной частотой 2Ω для генерации пары скореллированных фотонов с помощью с процесса спонтанного параметрического рассеяния (СПР). Эти фотоны формируют так называемую бифотонную пару. На выходе из кристалла фотоны разделяются пространственно и заводятся в разные оптоволоконные каналы. По волокну бифотонные состояния проходят через произвольную интерферометрическую схему, состоящую из светоделителей и фазовых элементов. Далее состояние интерферирует на финальном светоделителе. На выходе из светоделителя фотоны регистрируются детекторами.

На входе в финальный светоделитель бифотонное состояние может быть описано квантово-механическим вектором [1]

$$|\Psi\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} d\omega_1\, d\omega_2 \psi(\omega_1, \omega_2) \hat{a}_1^{\dagger}(\omega_1) \hat{a}_2^{\dagger}(\omega_2) |0\rangle_1 |0\rangle_2, \quad (1)$$

где $\psi(\omega_1, \omega_2)$ – бифотонная спектральная функция, $\hat{a}_1^{\dagger}(\omega_1)$ и $\hat{a}_2^{\dagger}(\omega_2)$ – операторы рождения первой и второй пространственной моды (соответствующие одной поляризационной моде), соответственно. При этом должно удовлетворяться условие нормировки

$$\langle \Psi | \Psi \rangle = 1. \quad (2)$$

Вероятность одновременной регистрации фотонов различными детекторами (вероятность двухфотонных совпадений) может быть вычислена с помощью интеграла от функции корреляции второго порядка по общему времени и временному окну детектирования [2]

$$P_{2c} = \int_{-\infty}^{\infty} dt \int_{-\tau_f}^{\tau_f} d\tau G^{(2)}(t, \tau), \quad (3)$$

где

$$G^{(2)}(t, \tau) = \langle \Psi | \hat{U}_{BS}^{\dagger} E_1^{(-)}(t) E_2^{(-)}(t+\tau) E_2^{(+)}(t+\tau) E_1^{(+)}(t) \hat{U}_{BS} | \Psi \rangle. \quad (4)$$

Здесь τ_f – ширина временного окна детектора, $\hat{U}_{BS}$ – оператор унитарного преобразования светоделителя, $E^{(\pm)}(t)$ – полевые операторы. Применение уравнений (3), (4) к состоянию (1) приводит к хорошо известной формуле для вероятности двухфотонных совпадений

$$P_{2c} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} d\omega_1 d\omega_2\, \psi(\omega_1, \omega_2) \psi^*(\omega_2, \omega_1). \quad (5)$$

Используя тот факт, что всякая функция двух переменных может быть представлена в виде суммы ее симметричной и антисимметричной частей, формулу (5) можно переписать в альтернативной форме

$$P_{2c} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} d\omega_1 d\omega_2\, [|\psi_S(\omega_1, \omega_2)|^2 - |\psi_{AS}(\omega_1, \omega_2)|^2], \quad (6)$$

где $\psi_{S,AS}(\omega_1, \omega_2) = 0.5[\psi(\omega_1, \omega_2) \pm \psi(\omega_2, \omega_1)]$. В такой записи становится очевидно, что вероятность двухфотонных отсчетов полностью определяется симметрийными свойствами бифотонной спектральной функции. Если спектр симметричен, то наблюдается полная группировка ($P_{2C} = 0$); если спектр антисимметричен, то наблюдается полная антигруппировка ($P_{2C} = 0$). Для наблюдения частичной группировки ($P_{2C} < 1/2$) или антигруппировки ($P_{2C} > 1/2$) необходимо, чтобы интеграл от квадрата модуля симметричной (антисимметричной) части бифотонного спектра превосходил аналогичный

интеграл для антисимметричной (симметричной) части. Разность этих интегралов удобно определить как новый параметр – степень симметрии D_S.

$$D_S = \int_{-\infty}^{\infty} d\omega_1 d\omega_2 \, [|\psi_S(\omega_1, \omega_2)|^2 - |\psi_{AS}(\omega_1, \omega_2)|^2]. \quad (7)$$

Этот параметр изменяется в пределах от -1 до 1. Когда он положителен, то есть спектральная функция преимущественно симметрична, то состояние группируется; в обратной ситуации – антигруппируется. Нетрудно показать, что сепарабельное состояние может обладать только положительной степенью симметрии. Действительно, бифотонный спектр сепарабельного состояния представляет собой произведение двух функций одной переменной $\psi(\omega_1,\omega_2) = N\varphi_1(\omega_1)\varphi_2(\omega_2)$, где N – нормировочный коэффициент. Тогда

$$D_S = N^2 \left| \int_{-\infty}^{\infty} d\omega_1 \, \varphi_1(\omega_1)\varphi_2^*(\omega_1) \right|^2 \geq 0. \quad (8)$$

Выражение (8) утверждает, что демонстрировать эффект антигруппировки могут только запутанные состояния. Однако наличие запутанности – необходимое, но не достаточное условие наблюдения антигруппировки, поскольку запутанное состояние может быть симметричным, что справделиво, например, для СПР-бифотонного состояния. Чтобы определить другое необходимое условие наблюдения эффекта антигруппировки, рассмотрим бифотонный спектр запутанного состояния общего вида

$$\psi(\omega_1, \omega_2) = \varphi_1(\omega_1)\varphi_2(\omega_2) e^{-(\omega_1+\omega_2-2\Omega)^2/2\sigma_p^2}. \quad (9)$$

Параметр σ_p здесь можно трактовать как полуширину источника накачки СПР-кристалла. Заметим, что в пределе $\sigma_p \to \infty$ состояние становится сепарабельным. В противоположном пределе $\sigma_p \to 0$ гауссова функция сводится к слабому пределу дельта-функции, то есть получается идеально запутанное состояние. Подставим теперь спектр вида (9) в выражение для степени симметрии (7) и устремим σ_p к нулю, пользуясь соотношением (2),

$$D_S = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} d\omega_1 \varphi_1(\omega_1)\varphi_2^*(\omega_1)\varphi_2(-\omega_1+2\Omega)\varphi_1^*(-\omega_1+2\Omega)}{\int_{-\infty}^{\infty} d\omega_1 |\varphi_2(\omega_1)|^2 |\varphi_1(-\omega_1+2\Omega)|^2}. \quad (10)$$

Выражение (10) равняется ±1 при выполнении условий

$$\varphi_1(\omega_1)\varphi_2(-\omega_1 + 2\Omega) = \pm\varphi_1(-\omega_1 + 2\Omega)\varphi_2(\omega_1). \quad (11)$$

Эти условия фактически описывают «скрытые» симметрийные свойства бифотонной спектральной функции. Их роль заключается в следую-

щем. Рассмотрим, например, бифотонный спектр, который обладает отличной от единицы положительной степенью симметрии. Такой бифотон будет группироваться с вероятностью менее 100 %. Однако если бифотонный спектр удовлетворяет условию (11) с положительным знаком, то при наличии большой (строго говоря, экстремальной) степени запутанности такое состояние будет группироваться с вероятностью 100 %.

Если говорить об антигруппировке, то бифотонный спектр типа (9), вообще говоря, не может обладать отрицательной степенью симметрии, поскольку «запутывающая» экспонента – это симметричная функция, а сепарабельная часть спектра согласно (8) может обладать только положительной степенью симметрии. Значит, наблюдение антигруппировки возможно только при условии, что бифотонный спектр удовлетворяет равенству из (11) со знаком минус. Таким образом, мы имеем два необходимых условия, обеспечивающих возможность наблюдения антигруппировки бифотонного состояния: состояние должно обладать высокой степенью запутанности, а его спектр должен обладать свойствами «скрытой» симметрии (11). Чтобы понять, какие реальные функции удовлетворяют соотношениям (11), положим $\varphi_2(\omega)= \varphi_1(\omega)\varphi_3(\omega)$. Тогда условие (11) примет более компактный вид

$$\varphi_3(-\omega + \Omega) = \pm\varphi_3(\omega + \Omega). \quad (12)$$

Симметричному условию (12) удовлетворяет набор функций

$$\mathrm{C}_1 \cos\frac{\omega\pi}{\Omega}n\,, \mathrm{C}_2 \sin\frac{\omega\pi}{2\Omega}(2n+1), \quad (13)$$

а ассиметричному условию удовлетворяют функции

$$\mathrm{C}_3 \cos\frac{\omega\pi}{2\Omega}(2n+1)\,, \mathrm{C}_2 \sin\frac{\omega\pi}{\Omega}n. \quad (14)$$

Здесь $C_{1,2,3,4}$ – произвольные константы, n – целое число. В работе [3] было показано, что бифотонное состояние, спектр которого удовлетворяет условиям (9), (11)-(14) можно приготовить, поместив в одно из плеч интерферометра Хонг-У-Мандела интерферометр Маха-Цендера. Такой спектр представляет собой произведение стандартного гауссова спектра СПР-бифотона на функцию вида (13), (14). Поскольку симметричные функции (13) отличаются от антисимметричных функций (14) только четностью аргумента, то имея возможность менять аргумент гармонической функции бифотонного спектра, можно менять степень ее симметрии и, как следствие, наблюдать изменение статистики отсчетов на выходе из гироскопа с группировки на антигруппировку.

Список используемых источников

1. Alodjants A. P., Tsarev D. V., Kuts D. A., S. Podoshvedov A. E., and Kulik S. P. Quantum optical metrology // Phys.-Uspekhi. 2024. N 67. C. 668.
2. Glauber R. J. The quantum theory of optical coherence // Physical Review. 1963. N 6. C. 2529.
3. Wang K. Quantum theory of two-photon wavepacket interference in a beamsplitter //J. Phys. B. 2006. N 39, C. R293.

INFLUENCE OF BIPHOTON STATES SYMMETRY DEGREE ON QUANTUM OPTICAL GYROSCOPES PERFORMANCE

Kiselev A., Miroshnichenko G., Guselnikov M., Kozubov A. Gaidash A.
ITMO University

Quantum optical gyroscope is one of the most promising candidates for a multifunctional quantum sensor. Its unique characteristics are determined by the effects of quantum entanglement and antibunching. In recent studies, the relation between these two effects has been proposed for controlling the quantum states entanglement degree and interferometric measurements. However, the physical nature of the correlations between the effects of antibunching and quantum entanglement, as well as their potential application in quantum sensing, remains unclear. In this work, it is shown that a necessary condition for biphoton state antibunching is not only the presence of quantum entanglement but also possession of specific symmetry properties by the biphoton joint spectral amplitude.

Key words: *quantum optical gyroscopes, antibunching effect, quantum entanglement, biphoton states*

УДК 004, 004.946
ГРНТИ 49.37.01

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ДАТА-ЦЕНТРА ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

[1,2]С. В. Кисляков, М. Н. Луценко

[1]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
[2]НТЦ АРГУС

В статье рассматриваются основные эксплуатационные процессы ЦОД, возможности их оптимизации, а также приводится функциональная модель алгоритма автоматизированного управления ресурсами на основе VR/AR.

ЦОД, виртуальная реальность, дополненная реальность, управление ресурсами

Дата-центры играют важную роль в сфере инфокоммуникаций, обеспечивая доступность, безопасность, высокую скорость и масштабируемость для обработки данных. IT-компании все чаще прибегают к услугам ЦОД, что позволяет им значительно снизить расходы на хранение и обработку информации, за счет аренды необходимого пространства и вычислительных ресурсов вместо создания собственных. На данный момент Российский рынок облачных инфраструктурных сервисов сохраняет значительный потенциал роста, что стимулирует компании операторы дата-центров активно заниматься развитием и оптимизацией эксплуатационных бизнес-процессов.

Эксплуатационные процессы ЦОД включают в себя следующие основные аспекты:

– мониторинг и управление ресурсами – это контроль и управление вычислительными, хранилищными и сетевыми ресурсами в ЦОД, чтобы обеспечить их эффективное использование и предотвращение перегрузок;
– управление мощностью и охлаждением – процессы, направленные на эффективное распределение и контроль потребления энергии, а также на поддержание оптимальных условий температуры и влажности в ЦОД;
– резервное копирование данных и восстановление после сбоев – обеспечивает сохранность и доступность информации при возможных сбоях или чрезвычайных ситуациях;

– управление безопасностью – обеспечение безопасности данных, приложений и инфраструктуры в ЦОД от внутренних и внешних угроз, а также обеспечение соответствия с различными стандартами безопасности;
– своевременные обновление и оптимизация ПО, используемого в ЦОД;
– поддержание актуального состояния документации, связанной с любыми изменениями в инфраструктуре центра обработки данных. Осуществление контроля за выполнением этих изменений в соответствии с внутренними процедурами;
– определение, анализ и прогнозирование всех преобразований, которые необходимы для обеспечения масштабирования ЦОД без снижения эффективности его функционирования;

Вышеперечисленные задачи составляют основу бесперебойной работы центра обработки данных. Однако компании операторы дата-центров постоянно стремятся к совершенствованию внутренних процессов за счет внедрения передовых технологий. Такими технологиями являются виртуальная (VR) и дополненная реальность (AR).

Виртуальная реальность (VR, от англ. Virtual Reality) – это искусственный мир, созданный техническими средствами, взаимодействующий с человеком через его органы чувств [1].

Дополненной реальностью (AR, от англ. Augmented Reality) можно назвать неполное погружение человека в виртуальный мир, когда на реальную картину мира накладывается дополнительная информация в виде виртуальных объектов [1].

Преимущества от внедрения технологий виртуальной и дополненной реальности [2,3]:

– повышение производительности – технологии VR/AR позволяют визуализировать данные и процессы, что, благодаря наглядности, упрощает принятие решений и повышает операционную эффективность. Используя данные технологии, можно создать систему, отображающую инфраструктурные слои, потоки газов и жидкостей с информацией о их влиянии на оборудование и окружающую среду. Это наиболее актуально при проектировании новых серверных помещений или глубокой переработке уже существующих.
– оптимизация обучения и работы персонала – применение технологий виртуальной и дополненной реальности в процессе обучения сотрудников позволяет персоналу эффективнее усваивать знания и обретать новые навыки. Это происходит за счет облегчения возможности выполнения

сложных операций и уменьшения уровня критичности допускаемых ошибок. VR/AR-тренажеры позволяют отрабатывать сложные операции (ремонт, модернизация, настройка оборудования) в безопасной виртуальной среде, а наложение схем и подсказок на физическое оборудование сокращает время диагностики неисправностей. Кроме того, у специалистов появляется возможность выполнять тренировки на виртуальных аналогах удаленных объектов без необходимости командировок.

– усиление безопасности – создание симуляций для тренировок персонала по действию в чрезвычайных ситуациях, способствующих улучшению реакции на различные угрозы и минимизации человеческого фактора. Например, симуляции по пожарной безопасности, эвакуации, действиям при утечке хладагента и иных опасных веществ. Симуляция для отработки действий персонала при активации в серверном помещении системы газового пожаротушения будет являться тренировкой и по пожарной безопасности, и по обращению с опасными веществами;
– снижение издержек – интеграция технологий виртуальной реальности позволяет оптимизировать издержки на обслуживание и управление. Это связано с тем, что в крупных дата-центрах существуют свои складские помещения, заполненные необходимыми инструментами и большим количеством оборудования, ведение учета которого крайне необходимо. С помощью VR/AR можно эффективно отслеживать и управлять запасами и ресурсами дата-центра, оптимизируя процессы закупки и использования оборудования.

Еще одним вариантом применения VR/AR является создание цифровых двойников центров обработки данных [4]. Крупные бизнес-гиганты стремятся создать 3D копии ЦОД, что просто невозможно эффективно устроить без дополненной реальности [5]. 3D-модели дата-центров помогают оптимизировать планировку, управлять складскими запасами и демонстрировать инфраструктуру клиентам.

В рамках данной статьи предлагается новая функциональная модель алгоритма автоматизированного управления ресурсами на основе VR/AR. Предполагается реализация модели, как программного комплекса, который будет интегрирован с уже существующими системами мониторинга и управления дата-центром. Схема функциональной модели представлена на рисунке 1.

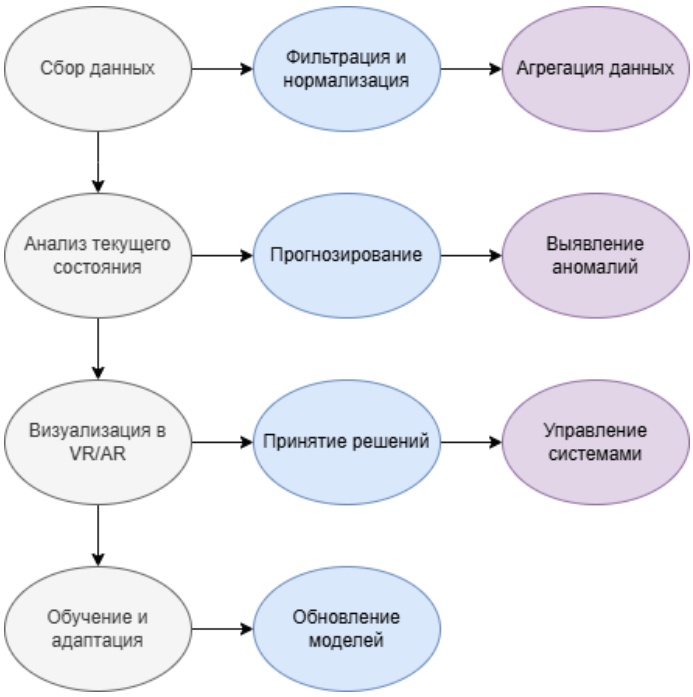


Рис. 1. Схема функциональной модели

Как показано на рисунке 1, модель представлена в виде последовательности шагов, описывающих взаимодействие между компонентами системы. Ниже приведена детализация данной модели.

1. Входные данные

– Данные от датчиков оборудования (температура, влажность, энергопотребление, нагрузка на серверы).
– Данные от систем мониторинга (Zabbix, Grafana и т.п.).
– Данные от VR/AR-устройств (визуализация потоков воздуха, тепла, расположения оборудования).
– Исторические данные (архивные данные о работе оборудования и энергопотреблении).

2. Основные функциональные блоки

2.1. Сбор и предварительная обработка данных

– Сбор данных: получение данных от датчиков, систем мониторинга и VR/AR-устройств.
– Фильтрация и нормализация: устранение шумов, приведение данных к единому формату.
– Агрегация данных: объединение данных из разных источников для формирования единой картины состояния дата-центра.

2.2. Анализ данных

– Анализ текущего состояния: оценка температуры, влажности, энергопотребления и нагрузки на серверы.
– Прогнозирование: использование алгоритмов машинного обучения для прогнозирования изменений в нагрузке, температуре и энергопотреблении.
– Выявление аномалий: обнаружение отклонений от нормальных параметров (например, перегрев оборудования, утечки охлаждающей жидкости).

2.3. Визуализация данных в VR/AR

– Создание 3D-модели: формирование интерактивной 3D-модели дата-центра с отображением текущего состояния оборудования, потоков воздуха и тепла.
– Отображение рекомендаций: наложение на 3D-модель подсказок и рекомендаций для персонала (например, выделение перегревающихся участков, предложения по перемещению оборудования).

2.4. Принятие решений

– Оптимизация распределения ресурсов: автоматическое перераспределение нагрузки на серверы для минимизации энергопотребления.
– Управление системами охлаждения: автоматическая регулировка работы систем охлаждения на основе данных о температуре и влажности.
– Генерация рекомендаций для персонала: формирование инструкций для инженеров по устранению выявленных проблем (например, замена оборудования, изменение конфигурации стоек).

2.5. Обучение и адаптация

– Обновление моделей машинного обучения: постоянное обучение моделей на новых данных для повышения точности прогнозов.
– Адаптация к изменениям: корректировка алгоритмов управления в случае изменения конфигурации дата-центра или появления нового оборудования.

3. Выходные данные

– Оптимальная конфигурация оборудования: Рекомендации по расположению серверов, настройке систем охлаждения и распределению нагрузки.

– Управляющие команды: автоматические команды для систем охлаждения, энергоснабжения и управления нагрузкой.
– Визуализация в VR/AR: интерактивная 3D-модель дата-центра с отображением текущего состояния и рекомендаций.

Пример работы алгоритма

Сбор данных: система получает данные от датчиков температуры, влажности, энергопотребления и систем мониторинга.

Анализ данных: алгоритм анализирует текущее состояние и прогнозирует возможные изменения.

Визуализация: в VR/AR-устройствах отображается 3D-модель дата-центра с выделением проблемных зон (например, перегревающиеся серверы).

Принятие решений: Алгоритм автоматически перераспределяет нагрузку на серверы и регулирует работу систем охлаждения.

Рекомендации для персонала: инженеры получают инструкции через AR-устройства (например, "Переместите сервер из стойки А в стойку Б для снижения температуры").

Обучение и адаптация: модель машинного обучения обновляется на основе новых данных, повышая точность прогнозов.

Преимущества приведенной модели

– Автоматизация. Минимизация ручного вмешательства в управление ресурсами.
– Точность. Использование данных в реальном времени и прогнозов на основе ИИ.
– Визуализация. Упрощение понимания сложных процессов для персонала.
– Гибкость. Возможность адаптации к изменениям в конфигурации дата-центра.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что технологии VR/AR должны и будут внедряться в эксплуатационные процессы дата-центров. Это обусловлено тем, что возможности для их применения весьма обширны, а в условиях растущего в России рынка центров обработки данных будет расти и спрос на технологии, позволяющие оптимизировать их эксплуатационные бизнес-процессы.

Список используемых источников

1. Полевода И. И., Иваницкий А. Г., Миканович А. С., Пастухов С. М., Грачулин А. В., Рябцев В. Н., Навроцкий О. Д., Лихоманов А. О., Винярский Г. В., Гусаров И. С. Технологии виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2022 С. 119-142. DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-1.119.

2. Sun X., Ansari N., Wang R. Optimizing Resource Utilization of a Data Center // IEEE Communications Surveys & Tutorials 2016 С. 2822-2846.

3. Пирогова М. А., Лешихина И. Е., Краюшкин В. А. Платформы дополненной реальности для промышленного применения // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2022. № 4 (188). С. 3-10.

4. Денисов С. Г. Цифровые двойники и новые человеко-машинные интерфейсы: возможности дополненной и виртуальной реальности // Бюллетень инновационных технологий. 2023. Т. 7. № 4 (28). С. 25-29.

5. Novak-Marcincin J., Barna J., Janak M., Novakova-Marcincinova L. Augmented Reality Aided Manufacturing // Procedia Computer Science, том 25, 2013, С. 23-31.

ANALYSIS OF POSSIBILITIES TO OPTIMISE DATA CENTRE OPERATIONAL PROCESSES THROUGH THE USE OF VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES

Kislyakov S., Lutsenko M.
The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications

The paper considers the main operational processes of data center, possibilities of their optimisation, and also presents a functional model of the algorithm of automated resource management on the basis of VR/AR.

Key words: *data center, virtual reality, augmented reality, resource management*

УДК 654.1
ГРНТИ 49.33.01

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КОНТАКТНЫМ ЦЕНТРОМ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТОЙ ЦИФРОВОЙ АРХИТЕКТУРЫ

[1,2]С. В. Кисляков, [1]А. В. Хайдаров

[1]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
[2]НТЦ АРГУС

Сегодня контактный центр представляет собой архитектурно сложную систему массового обслуживания с множеством функций. Современные требования к системам управления инфокоммуникациями определили переход на сервис-ориентированные многокомпонентные системы. Предлагается новый подход к автоматизации контакт-центра на основе Открытой цифровой архитектуры (Open Digital Architecture), позволяющий уйти от монолитных программных решений в сторону многокомпонентных слабо связанных микро-сервисных решений.

контактный центр, CRM, WFM, ODA

В обычном представлении контактный центр должен представлять собой готовый продукт для предоставление оперативного решения проблем клиента или ответа на его вопросы через обработку телефонных звонков. Современный контакт-центр является сложной взаимосвязанной системой, в которую могут быть интегрированы множество систем по желанию заказчика.

Современные цифровые услуги требуют быстрой адаптации к изменениям в бизнес-среде и технологических требованиях. Open Digital Architecture (ODA) помогает создать такие системы, которые могут легко масштабироваться и адаптироваться, обеспечивая возможность гибкой настройки архитектуры под изменяющиеся потребности бизнеса. Это особенно важно для компаний, работающих в высококонкурентных и динамичных отраслях, таких как телекоммуникации (рис.1) [1].

Основываясь на стандарты ODA в построении архитектуры, разработчики решения системы для обработки вызовов закладывают основные преимущества технологии:

1. Модульность архитектуры – отсутствие монолитности системы. Вынесение функционала в отдельные приложения-сервисы;

2. Интегрируемость с поддерживаемыми стандартами – NGOSS/Frameworx, eTOM, SID и другие. В условиях растущего числа сервисов и приложений важно, чтобы они могли эффективно интегрироваться, обмениваться данными и взаимодействовать на разных уровнях;

– Стандартизированность API – использование RESTful API, Open API для формирования универсальности в работе между приложениями других вендоров;

– Омниканальность – поддерживает стратегии омниканального обслуживания, позволяя операторам управлять взаимодействием с клиентами через различные каналы – телефонию, электронную почту, чаты и социальные сети.

Цифровые услуги должны работать круглосуточно и без перебоев. ODA обеспечивает создание архитектур с высокой доступностью, используя кластеризацию, распределенные вычисления и другие подходы для минимизации времени простоя.

Внедрение ODA позволяет значительно снизить затраты на разработку и поддержку цифровых сервисов, так как архитектура ориентирована на повторное использование компонентов, стандартные интерфейсы и интеграцию [2].

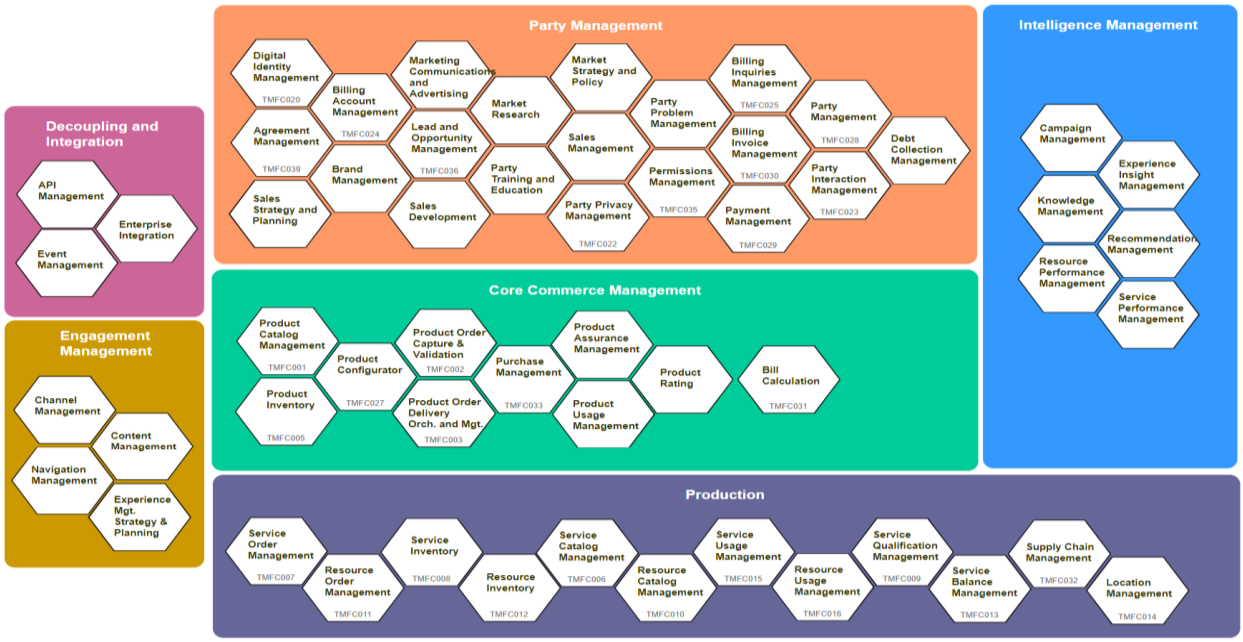


Рис. 1. Карта компонентов Open Digital Architecture

Инструменты открытой цифровой архитектуры позволяют внедрить разработчикам любую внешнюю систему, включенную в схему КЦ (рис.2) [3].

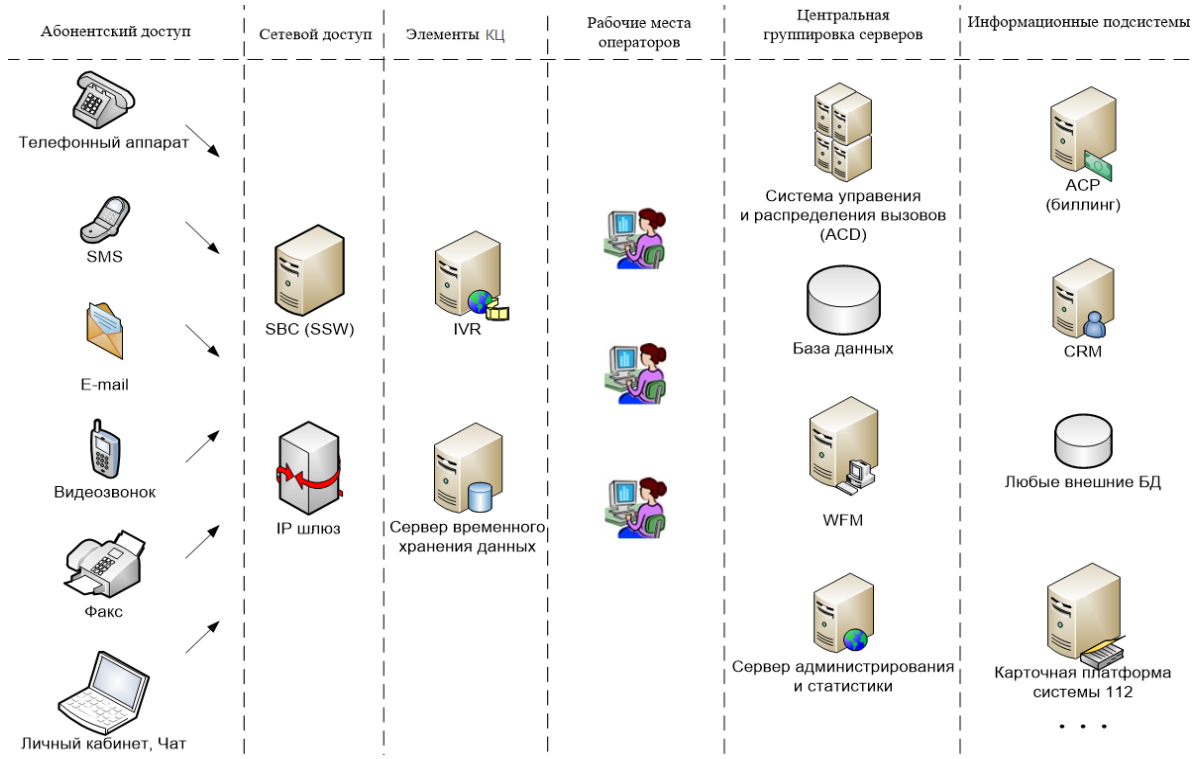


Рис. 2. Общая схема современного контакт-центра

В качестве наглядного примера можно рассмотреть интеграцию CRM системы с помощью API прямиком на веб-интерфейс рабочего места оператора (рис. 3).

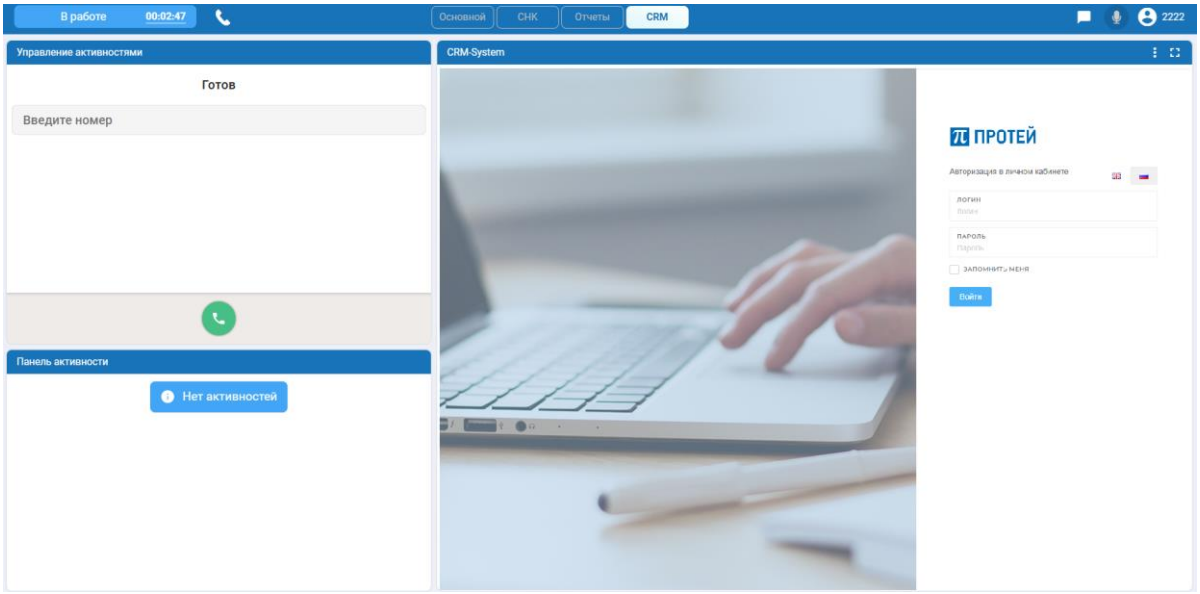


Рис. 3. Интеграция CRM системы

В рамках решения интеграции от компании «СИГУРД-Айти» приложение рабочего места оператора находится в докер-контейнере, в который примонтированы образ и конфигурация приложения и выведена часть портов наружу, чтобы по ним можно было попасть на РМО.

При загрузке рабочего места оператора с сервера, на котором находится приложение, поступает GET-запрос к CRM-системе, от которой нам поступает ответ и открывается сама CRM. В данном варианте реализации оператор может принимать вызовы и параллельно искать какую-то информацию.

Возможен вариант подключения CRM-системы для непосредственного открытия карточки для заполнения данных при поступающем вызове. В этом случае для интеграции потребуется точка входа (ссылка) со стороны внедряемой системы, а также обработчик, чтобы заполненная карточка успешно сохранялась в системе.

У этого же вендора есть пример другой интеграции с WFM от компании «Аргус» для передачи различных данных в отдельное приложение с целью дальнейшего анализа работы контактного-центра.

Здесь для передачи информации используется SOAP-запрос и различные методы, указанные разработчиками.

Для запросов используется отдельное приложение, которое, обычно, также устанавливается в докерном контейнере. Суть приложения - собрать всю имеющуюся статистику за текущее время и передать конечной точке. Так как компания-вендор использует несколько баз, а также дополнительное приложение для подсчета онлайн-статистики, то запросы, в зависимости от методов, распределяются по разным приложениям, от которых WFM ожидает ответа. После успешного завершения процедуры обмена данные отобразятся в конечном приложении, а если возникнет какая-то ошибка, то это отобразится в логах и будет исследоваться отделом техподдержки или разработчиками [4].

Заключение

В условиях стремительно развивающегося рынка контактных центров, где количество заказчиков и их потребностей неуклонно растет, использование ODA становится ключевым фактором для успешной интеграции и оптимизации бизнес-процессов.

Стандартизованный подход, предлагаемый ODA, позволяет не только упрощать взаимодействие между различными системами и платформами, но и значительно ускорять процесс внедрения новых решений.

Список используемых источников

1. Tm-Forum, Open Digital Architecture, 2024 г. URL: https://www.tmforum.org/oda/ (дата обращения 22.11.2024).

2. Paweł Kujawski, “Will Open Digital Architecture Set a New Path for Creating Digital Ecosystems for Telecom?” // devapo, 2024 г. URL: https://devapo.io/blog/legacy-transformation/will-open-digital-architecture-set-a-new-path-for-creating-digital-ecosystems-for-telecommunications/ (дата обращения 22.11.2024).

3. ООО «НТЦ ПРОТЕЙ», Контакт центр SIGURD-MIND, Санкт-Петербург, 2023 г., с. 16-25.

4. ООО «НТЦ ПРОТЕЙ», Интерфейс взаимодействия КЦ SIGURD-MIND с внешними информационными системами, Санкт-Петербург, 2022 г.

CONTACT CENTER MANAGEMENT MODEL BASED ON OPEN DIGITAL ARCHITECTURE

Kislyakov S., Khaidarov A.
The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications

Today a contact center is an architecturally complex mass service system with many functions, which ten years ago nobody knew about and did not understand how to implement them in infrastructure and applications. A single contact center can contain both a classic call-taking system and a custom-designed system. In order for two unrelated systems to integrate successfully, it is necessary to use some standards for the design of applications and the entire architecture.

Key words: *Contact Center, CRM, WFM, ODA*

УДК 621.396.712
ГРНТИ 49.43.37

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЕНСАЦИИ ВРЕМЕННОГО СДВИГА OFDM-СИГНАЛА В СИСТЕМЕ ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ DRM MODE E

Ю. А. Ковалгин, О. А. Гуминский

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Приведены результаты исследования требуемой точности временной синхронизации с учетом компенсации временного сдвига на основе пилотных поднесущих для системы цифрового радиовещания DRM при работе в режиме устойчивости E.

синхронизация OFDM-символов, цифровое радиовещание

Данная работа является продолжением исследований, направленных на оценку требуемой точности временной синхронизации приемного оборудования системы DRM при работе в режиме устойчивости E [1].

Целью данного исследования является изучение возможности и оценка эффективности компенсации временного сдвига между моментами старта прямого дискретного преобразования Фурье (ДПФ) и началом полезной (информационной) части OFDM-сигнала при DRM-приеме.

Для проведения исследований использовалась разработанная ранее в среде Matlab/Simulink имитационная модель приемопередающего такта системы DRM [2], выполненная в полном соответствии с требованиями стандарта и дополненная блоками, необходимыми для оценки влияния временной задержки на качество принимаемого OFDM-сигнала. После формирования OFDM-сигнала во временной области для него вводится блоком Sample Shifter временная задержка. Далее OFDM-сигнал проходит либо напрямую к OFDM-демодулятору, либо через блок генерации аддитивного белого гауссовского шума. Особенностью данной модели является наличие блока компенсации искажений, вызванных временным сдвигом OFDM-сигнала при приеме. Данный блок установлен сразу после OFDM-демодулятора. Для оценки качества принятого OFDM-сигнала в приемный тракт имитационной модели введены блоки для измерения коэффициента модуляционных ошибок (MER) и вероятности появления битовых ошибок (BER).

В данном исследовании для оценки влияния временного сдвига между моментами старта прямого ДПФ и началом полезной части OFDM-символа

на качество DRM-приема использовались пилотные поднесущие частоты, параметры (амплитуда, частоты, фаза) и расположение которых в частотно-временной сетке OFDM-сигнала заданы стандартом.

Структурная схема имитационной модели блока компенсации временного сдвига OFDM-сигнала при DRM-приеме представлена на рис. 1.

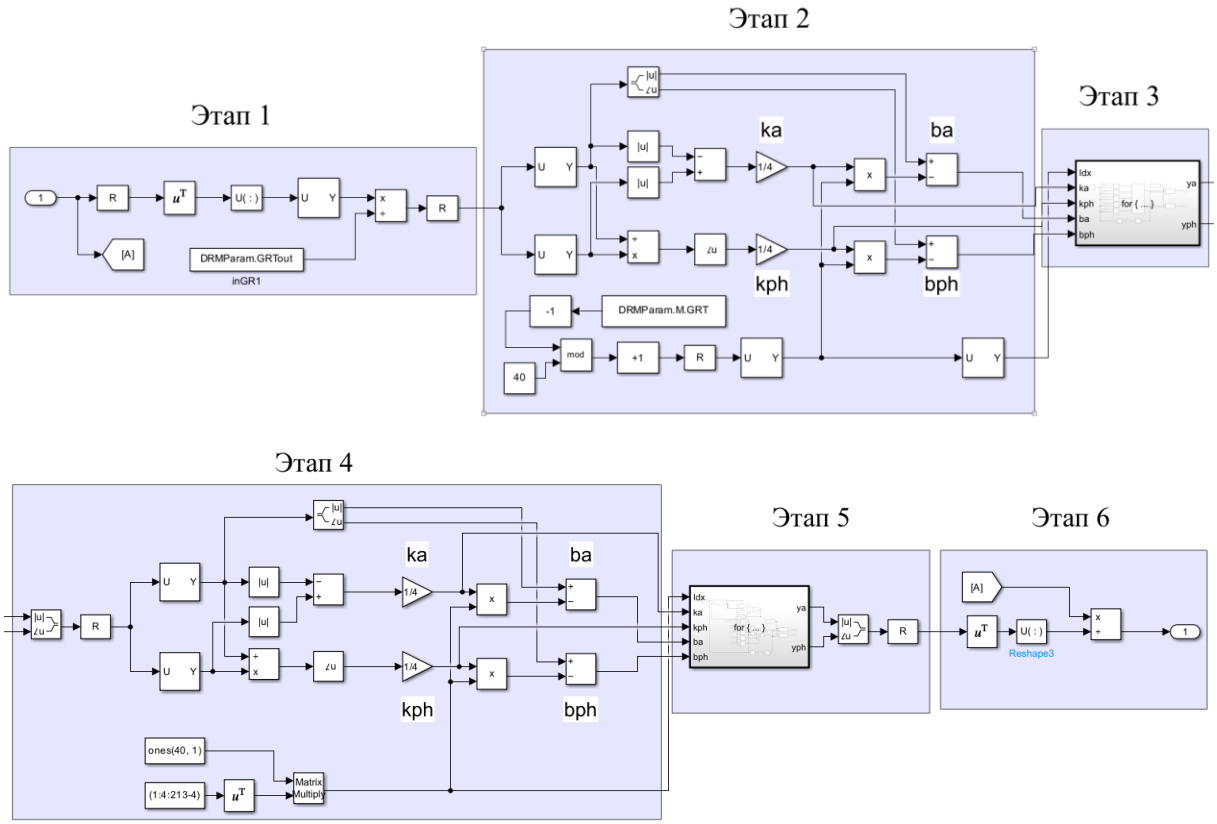


Рис. 1. Структурная схема имитационной модели блока компенсации временного сдвига OFDM-сигнала при DRM-приеме в среде Matlab/Simulink

Процедура обработки данных включает 6 этапов (рис1) и основана на применении билинейной интерполяции. Оценка искажений по амплитуде и фазе для информационных поднесущих частот фрейма передачи, вызванных временным сдвигом OFDM-сигнала, выполняется сначала в направлении оси частот, а затем в направлении оси времени. На этапе 1 данные OFDM-фрейма передачи, полученные после выполнения прямого ДПФ, разделяются на данные пилотных и информационных поднесущих частот. На этапе 2 параметры (амплитуды и фазы) пилотных поднесущих частот сравниваются с их эталонными значениями, известными приемнику и для каждой из них рассчитываются коэффициенты компенсации, характеризующие внесенные временным сдвигом изменения по амплитуде $K_{A,ПП}$ (x,y) и фазе $K_{\varphi,ПП}(x,y)$ как:

$$K_{\text{А,ПП}}(\text{x},y) = A_{\text{ПЗ}}(\text{x},y) - A_{\text{ЭЗ}}(\text{x},y)\ ;\ K_{\varphi,_{\text{ПП}}}(x,y) = angle\ [\varphi_{\text{ПЗ}}(\text{x},y)\ ,\ \varphi_{\text{ЭЗ}}(\text{x},y)],\ (1)$$

где: x,y – координаты поднесущих частот в частотно-временной сетке фрейма передачи; $A_{ПЗ}(x,y)$ и $A_{ЭЗ}(x,y)$ – принятые и эталонные значения амплитуды пилотных поднесущих частот с координатами (x,y); $\varphi_{пз}(x,y)$ и $\varphi_{пз}(x,y)$ - принятые и эталонные значения фазы пилотных поднесущих частот с координатами (x,y), $angle[\varphi_{пз}(x,y), \varphi_{пз}(x,y)]$ – изменения фазы принятых пилотных и соответствующих им эталонных поднесущих частот с координатами (x,y).

На этапе 3 методом линейной интерполяция рассчитываются шаги изменения величин коэффициентов компенсации по амплитуде и фазе для информационных поднесущих частот, расположенных между соседними пилотными поднесущими частотами как по оси частот, так и для поднесущих частот, расположенных в одинаковых позициях по оси времени данных фрейма передачи. На этапе 4 рассчитываются коэффициенты компенсации изменений амплитуды и фазы для информационных поднесущих частот, расположенных вдоль оси частоты данных фрейма передачи. На этапе 5 вычисляются коэффициенты компенсации изменений амплитуды и фазы для информационных поднесущих частот, расположенных вдоль временной оси данных фрейма передачи. На заключительном шестом этапе для каждой информационной поднесущей частоты фрейма передачи компенсируются внесенные временным сдвигом OFDM-сигнала искажения по амплитуде и частоте:

$$\text{К}_{A,\text{ИП}}(\text{x},y) = A_{\text{ИП}}(\text{x},y) + K_{A,\text{ИП}}(\text{x},y)\quad ;\quad K_{\varphi,\text{ИП}}(\text{x},y) = angle[\varphi_{\text{ИП}}(\text{x},y), K_{\varphi_{\text{ИП}}}(\text{x},y)],\ (2)$$

где: $A_{ИП}(x,y)$ и $\varphi_{\text{ип}}(x,y)$ – принятые значения амплитуды и фазы для информационных поднесущих частот с координатами (x,y); $K_{\text{А,ИП}}(x,y)$ и $K_{\varphi,ИП}(x,y)$ – коэффициенты компенсации изменений амплитуды и фазы для каждой из них.

Для оценки эффективности работы компенсатора по устранению влияния временной задержки, было проведено имитационное моделирование при разных ее значениях как при выключенном, так и при включенном компенсаторе.

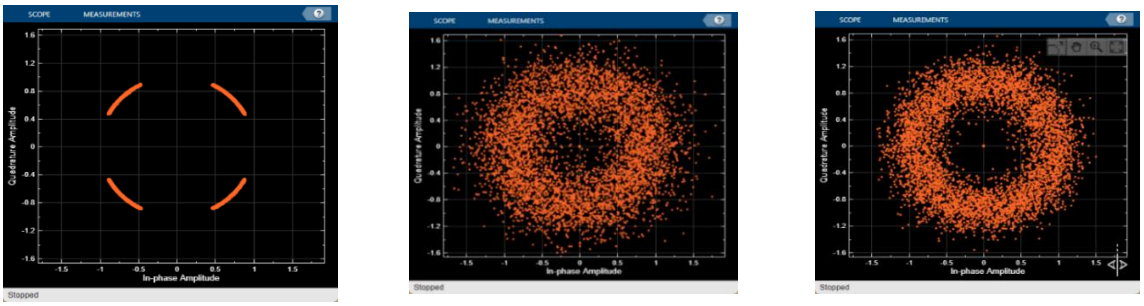
На рис. 2 и 3 приведены сигнальные созвездия OFDM-сигнала для разных значений временного сдвига при выключенном (рис. 2) и включенном компенсаторе (рис. 3).

На рис. 4 показаны зависимости коэффициента модуляционных ошибок (RMER) от временного сдвига, полученные при проведении данного ис-

следования. Буква «R» в аббревиатуре говорит о том, что измерение MER выполнено в приемном тракте имитационной модели.

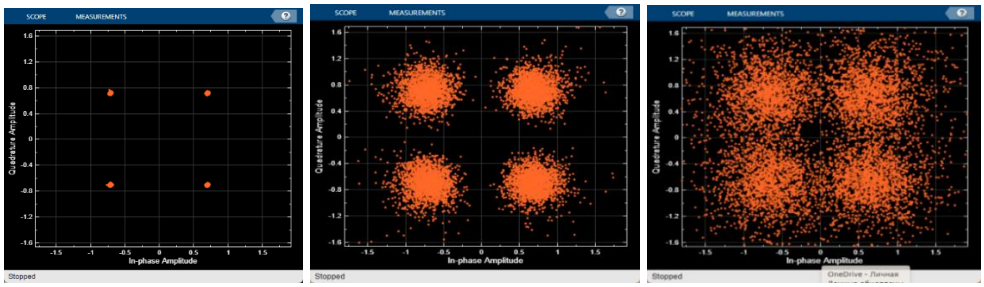
Из графиков, представленных на рис. 4а, можно сделать вывод о том, что применение компенсатора позволяет сохранить высокое значение RMER при значительно большем временном сдвиге, чем в случае его отсутствия. Наличие компенсатора рис. 4б) существенно влияет на величину RMER. Видно (рис.4), что в ситуации, когда старт прямого дискретного преобразования Фурье происходит раньше начала полезной (информационной) части OFDM-символа, компенсатор работает более эффективно.

Далее при анализе работы компенсатора в условиях аддитивного белого гауссовского шума в радиоканале был рассмотрен наиболее пессимистичный сценарий, когда момент старта прямого ДПФ берется позже начала полезной части OFDM-символа (рис. 5).



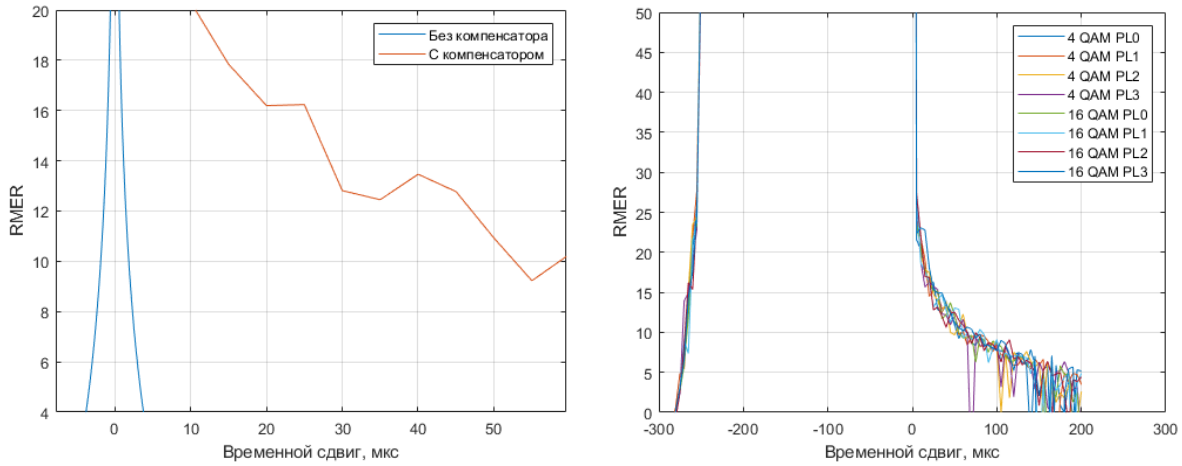
а б в

Рис. 2. Сигнальные созвездия для модуляции QAM-4 с уровнем защиты PL0 для разных значений временного сдвига OFDM-сигнала с выключенным компенсатором: а – 1 мкс (при отсутствии шума в канале); б – 50 мкс и в – 190 мкс (при наличии шума в радиоканале)



а б в

Рис. 3. Сигнальные созвездия для модуляции QAM-4 с уровнем защиты PL0 для разных значений временного сдвига OFDM-сигнала с включенным компенсатором: а – 1 мкс (при отсутствии шума в канале); б – 50 мкс и в – 190 мкс (при наличии белого шума в канале)



а б

Рис. 4. Зависимости RMER от величины временного сдвига: а – сравнение измеренных величин RMER, полученных без использования (синяя кривая) и с использованием компенсатора при модуляции QAM-4 с уровнем защиты PL0; б – с применением компенсатора при разных видах модуляции QAM и уровнях защиты PL

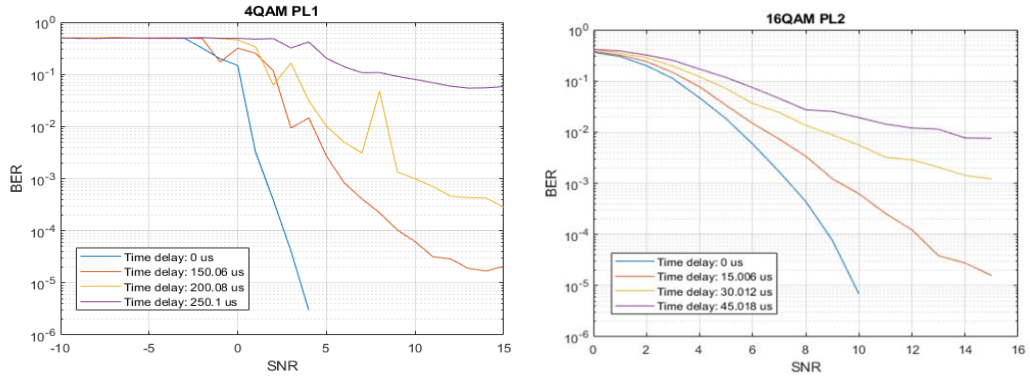


Рис. 5. Зависимости вероятности появления битовой ошибки от отношения сигнал/шум: а –модуляция QAM-4 при уровне защиты PL0, б- модуляция QAM-16 при уровне защиты PL1

Результаты данного исследования и ранее выполненной работы [3] позволяют сформулировать требования к допустимому значению временного сдвига OFDM-символов при отсутствии и наличии в структуре приемника компенсатора (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Результаты оценки допустимого временного сдвига

Вид модуляции поднесущих частот	Скорость кода/ Уровень защиты	Требуемое стандартом отношение сигнал/шум, дБ		Временное окно для старта прямого ДПФ, при условии, что вероятность появления битовой ошибки при требуемом стандартом отношении сигнал/шум не превышает 10-4 , мкс	
		Без компенсатора	С компенсатором	Без компенсатора	С компенсатором
QAM-4	0,25/PL0	1…7,9)*	(3…7,8)*	2,5	190
QAM-16	0,41/PL1	(7,9…15,4)*	(8,9…12)*	0,8	25

Примечание: * для разных режимов работы передающего DRM-тракта и условий приема.

Список используемых источников

1. Гуминский О. А., Мышьянов С. В. Разработка алгоритма синхронизации сигнала для радиоприемного устройства стандарта DRM mode E // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2022. с. 178–183.

2. Гуминский О. А. Модель приемо-передающего тракта системы цифрового радиовещания DRM+// https://cloud.mail.ru/public/AxE9/9nJmYeYHv.

3. Гуминский О. А., Ковалгин Ю. А. Исследование и оценка требуемой точности временной синхронизации приемного оборудования в системе цифрового радиовещания DRM mode E// Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2024. С. 201–205.

RESEARCH OF OFDM SIGNAL TIME SHIFT COMPENSATION IN DRM MODE E DIGITAL RADIO BROADCASTING SYSTEM

Kowalgin Y., Guminskii O.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The necessity of taking into account the time shift of OFDM-signal at DRM-reception is shown, the simulation model for research and estimation of influence of OFDM-signal time shift on reception quality is offered and realized in MATLAB/Simulink environment; the possibility of its compensation for different kinds of signals at work of DRM system is estimated; the requirements to accuracy of time synchronization of receiving equipment at presence of block of compensation of OFDM-signal time shift are formulated.

Key words: *OFDM symbol synchronization, digital broadcasting*

УДК 621.396.712
ГРНТИ 49.43.37

О ТОЧНОСТИ ВРЕМЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИ DRM-ПРИЕМЕ

Ю. А. Ковалгин, О. А. Гуминский

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Для разных видов модуляции и уровней защиты системы цифрового радиовещания DRM при работе в режиме устойчивости E получены максимально допустимые значения временного сдвига между моментом старта прямого дискретного преобразования Фурье и началом полезной (информационной) части OFDM-сигнала, при котором еще обеспечиваются условия комфортного приема.

Ключевые слова: цифровое радиовещание, DRM, временная синхронизация

Введение

Известно большое число работ, посвященных исследованию проблемы временной синхронизации OFDM-сигналов, среди которых прежде всего следует назвать такие работы как [1-7]. Однако они не учитывают особенностей структуры и характеристик OFDM-сигналов конкретных систем цифрового радиовещания, не предлагают для каждой из них наиболее эффективные (с учетом особенностей конкретного стандарта) решения.

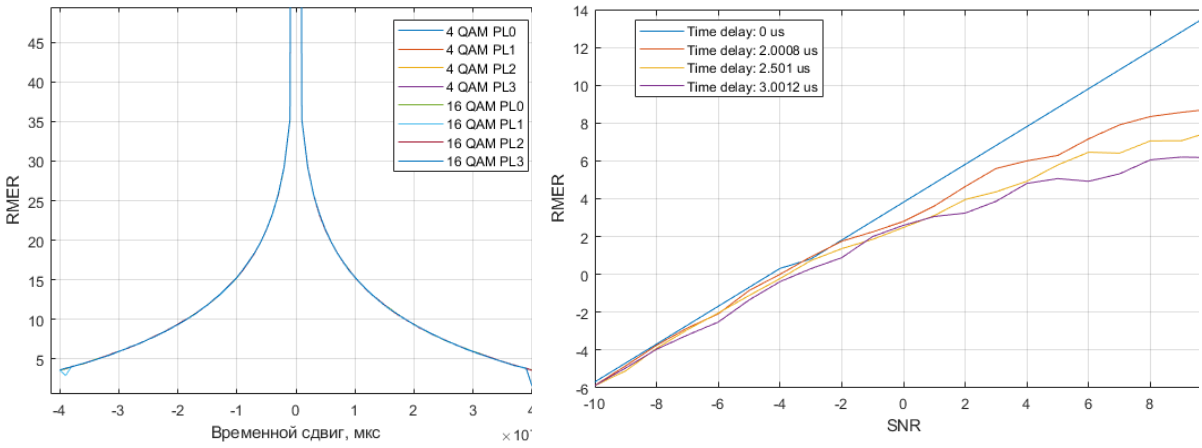
Цель работы

Данное исследование посвящено оценке требуемой точности момента старта прямого дискретного преобразования Фурье (ДПФ) относительно начала полезной части OFDM-символов, при котором сигнал ошибки для системы цифрового радиовещания DRM при работе в режиме устойчивости E не превышает значений, требуемых стандартом [8] и рекомендацией ITU-R BS.1660-8 (06/2019) [9].

Основная часть

В качестве основы для проведения данных исследований была выбрана разработанная в среде Матлаб/Симулинк имитационная модель приемопередающего тракта системы DRM для режима устойчивости E [10,11], дополненная блоками, позволяющими для разных видов модуляции и уровней защиты изменять в обе стороны в приемнике временной сдвиг τ между моментом старта прямого ДПФ и началом полезной части OFDM-символа, а также

при каждом значении τ оценивать качество принимаемого DRM-приемником сигнала. С помощью данной имитационной модели были получены экспериментальные зависимости, представленные на рис. 1. При этом предполагалось, что отсутствуют искажения, вызванные сдвигом несущей частоты и потерями в радиоканале, многолучевостью, а также рассогласованием периодов дискретизации ЦАП при преобразовании цифрового сигнала в аналоговый в передающем тракте и АЦП – в DRM-приемнике. Иначе говоря, имеет место только временное смещение OFDM-сигнала при радиоприеме.



а б

Рис. 1. Зависимости коэффициента модуляционных ошибок RMER, дБ, при модуляции поднесущих частот QAM-4 и QAM-16 для разных уровней помехозащищенности PL0-PL3: а – от временного сдвига τ, мкс, между моментом старта прямого ДПФ и началом полезной части OFDM-символа при отсутствии в радиоканале аддитивного белого гауссовского шума, помех и многолучевости; б – от отношения сигнал/шум SNR, дБ, при наличии в радиоканале аддитивного гауссовского белого шума для разных значений временного сдвига τ, мкс (модуляция поднесущих частот QAM-4, уровень защиты PL1); система DRM, режим устойчивости E

Для оценки качества принятого OFDM-сигнала использовался такой параметр, как коэффциент модуляционных ошибок MER. Чтобы подчеркнуть, что в данном случае его оценка выполнялась не в тракте передача, как это принято, например, в [12], а в приемнике, то будем в этой аббревиатуре дополнительно использовать букву R, обозначая его как RMER (receive).

Напомним, что величина коэффициента модуляционных ошибок RMER, дБ, по определению равна [13]:

$$RMER = 10lg\left(\frac{P_c}{P_{ош}}\right), дБ, \qquad и\ P_{ош} = \frac{P_c}{10^{RMER/10}}, \tag{1}$$

где: $P_с$ – средняя мощность полезного сигнала за интервал измерения T, $P_{ош}$ – средняя мощность сигнала ошибки за интервал T при наличии в радиоканале аддитивного белого шума и временного сдвига τ между моментами старта прямого дискретного преобразования Фурье и началом полезной части OFDM-символа. Из (1) следует, что:

$$RMER_1 = 10lg\ (\frac{P_c}{P_{0Ш_1}}); P_{ош_1} = \frac{P_c}{10^{RMER_1/10}}$$

и

$$RMER_2 = 10\ lg\left(\frac{P_c}{P_{0Ш_2)}}\right); P_{ош_2} = \frac{P_c}{10^{RMER_2/10}}.$$

Здесь: $RMER_1$ и $P_{ош_1}$– коэффициент модуляционных ошибок, дБ, и средняя мощность сигнала ошибки при наличии в радиоканале аддитивного белого шума и отсутствии временного сдвига (τ=0) между моментами старта прямого ДПФ и началом полезной части OFDM-сигнала; $RMER_2$ и $P_{ош_2}$– коэффициент модуляционных ошибок, дБ, и средняя мощность сигнала ошибки при наличии временного сдвига (τ≠0) между моментами старта прямого ДПФ и началом полезной части OFDM-символа и отсутствии в радиоканале аддитивного белого шума.

Источники шумов $P_{ош_1}$ и $P_{ош_2}$ имеют разную природу появления, по этой причине их можно считать статистически независимыми случайными величинами, если это так, то справедливо выражение:

$$P_{0Ш} = P_{0Ш_1} + P_{0Ш_2}$$

и коэффициент модуляционных ошибок при наличии аддитивного белого шума в радиоканале и τ≠0 может быть найден как:

$$RMER = 10lg\ (\frac{1}{\frac{1}{10^{RMER_1/10}} + \frac{1}{10^{RMER_2/10}}}),\ дБ.\ (2)$$

Результаты измерений, приведенные на рис. 1, позволяют оценить влияние аддитивного белого гауссовского шума (AWGN) в радиоканале на величину коэффициента модуляционных ошибок при разных значениях временного сдвига τ≠0. Полученные расчетным путем данные представлены на рис.2. Параметром каждой кривой здесь является значение временного сдвига τ (τ= 0 мкс, 1 мкс, 2 мкс, 2,5 мкс, 3 мкс).

При наличии временного сдвига (τ≠0) или (и) аддитивного белого шума в радиоканале сигнал ошибки $P_{ош}$ уже не будет равен нулю. Увеличение τ сопровождается ростом сигнала ошибки и, соответственно, уменьшением

коэффициента модуляционных ошибок, что подтверждается данными расчета (рис.2, четыре нижние кривые) и измерениями при имитационном моделировании (рис. 1б, три нижние кривые).

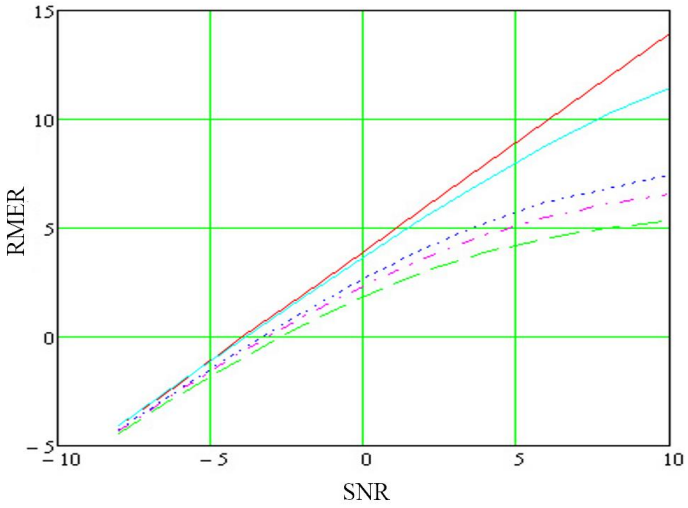


Рис. 2. Зависимости коэффициента модуляционных ошибок (RMER, дБ) от отношения сигнал/шум (SNR, дБ) при наличии в радиоканале аддитивного белого шума для разных значений временного сдвига τ между моментами старта прямого ДПФ и началом полезной части OFDM-символа: верхняя кривая для τ = 0 мкс, вторая кривая сверху – τ = 1 мкс, третья кривая сверху - τ=2 мкс, четвертая кривая сверху – τ = 2,5 мкс, пятая кривая сверху – τ =3 мкс (модуляция поднесущих частот QAM-4, уровень защиты PL1)

В системе DRM при работе в режиме устойчивости E уменьшение отношения сигнал/шум в радиоканале относительно минимального значения SNR_{min} на 1 дБ приводит к тому, что прием DRM-сигнала оказывается невозможным [14,15,16]. Для нее при работе в режиме устойчивости E в условиях стационарного приема были измерены минимальные значения SNR_{min} (табл.1, второй столбец), при которых еще сохраняется комфортный прием, т.е. вероятность появления битовых ошибок, как того требует стандарт, не превышает 10^{-4} [14,15].

Данные табл.1 и зависимости коэффициента модуляционных ошибок RMER, дБ, (рис. 1а и рис. 1б (верхняя кривая)) позволяют найти максимально допустимое значение временного сдвига $\tau_{доп}$, при котором вероятность появления битовых ошибок не превысит требуемое стандартом значение 10^{-4}.

Предположим, что в радиоканале присутствует белый гауссовский шум и отношение сигнал/шум равно SNR_{min} при выбранных порядка модуляции QAM и скорости кода, а уменьшение этого отношения до величины $SNR_{п}$, при котором прием сигнала становится невозможным, происходит за счет

появляющегося временного сдвига τ, тогда выражение (2) преобразуется к виду:

$$SNR_{\text{п}} = 10lg\left(\frac{1}{\frac{1}{10^{\frac{(SNR_{min})}{10}}}+\frac{1}{10^{\frac{RMER_2}{10}}}}\right) \text{ и } SNR_{п}=SNR_{min}-1 \qquad (3)$$

Ранее [14, 15] для условий стационарного приема (*Fx*) на штыревую антенну в помещении на расстоянии 12 км от телебашни в Санкт-Петербурге (несущая частота DRM-передатчика 95,7 МГц) были получены минимальные значения отношения сигнал/шум SNR_{min}, при которых еще имеет место комфортный прием, т.е. вероятность появления битовой ошибки, как того и требует стандарт, не превышает 10^{-4} (табл.1).

Выражение (3) позволяет рассчитать значение коэффициента модуляционных ошибок $RMER_2$ и затем, используя зависимость на рис.1,а, найти соответствующее ему значение максимально допустимого временного сдвига $\tau_{доп}$. Результаты этих вычислений приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Максимально допустимое значение временного сдвига $\tau_{доп}$ между моментами старта прямого ДПФ и началом полезной (информационной) части OFDM-символов

Модуляция/ Скорость кода/Уровень защиты	Минимальное значение, SNR_{min}, дБ	Пороговое значение, $SNR_{\text{п}}$, дБ	Значение коэффициента модуляционных ошибок MER_2, дБ	Максимально допустимое значение временного сдвига $\tau_{доп}$, мкс
QAM-4/0,250/PL0	2,27	1,27	8.2	2.3
QAM-4/0,333/PL1	2,71	1,71	8.6	2.2
QAM-4/0,4/PL2	2,93	1,93	8.8	2.1
QAM-4/0,5/PL3	4,09	3,09	10	1.8
QAM-16/0,330/PL0	7,64	6,64	13.5	1.3
QAM-160,411/PL1	9,22	8,22	15.1	1.0
QAM-160,500/PL2	10,24	9,24	16.1	0.9
1QAM-16/0,411/PL1	11,40	10,40	17.3	0.8

Заключение

Сохранение условий комфортного приема сигнала DRM невозможно без точной временной синхронизации приемного оборудования: при модуляции поднесущих частот QAM-4 временной сдвиг $\tau_{доп}$ между моментами

старта прямого ДПФ и началом полезной части OFDM-символа в зависимости от выбранного уровня защиты не должен превышать значений 1,8-2,3 мкс; при модуляции QAM-16 – это величина должна быть не более 0,8-1,3 мкс. Разброс этих значений определяется выбранным уровнем защиты PL.

Результаты вычислений подтверждены данными измерений и должны быть учтены при разработке блока временной синхронизации DRM-приемника.

Список используемых источников

1. Технология OFDM: Учебное пособие для вузов/Бакулин М.Г., Крейнделин В.В., Шлома А.М. и др.- Горячая линия – Телеком, 216. 352 с.

2. Гуминский О. А., Мышьянов С. В. Разработка алгоритма синхронизации сигнала для радиоприемного устройства стандарта DRM mode// Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2022. Т. 3. С. 178–183.

3. Keller T. and Hanzo L. Orthogonal frequency division multiplex synchronization techniques for wireless local area networks, In Proc. IEEE Int. Symp. On Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Taipei, Taiwan, Oct.1996, pp.963–967.

4. Sandell M., J.J. van de BEEK and P.O. Borjesson. Timing and frequency synchronization in OFDM systems using the cyclic prefix. In Proc. Of. the Int. Symp. On Synchronization, Essen, Germany, 1995, pp.16–19.

5. Chevillat P.R., Maiwald D and Unger Boeck. Rapid training of a voiceband data-modem receiver employing an equalizer with fractional-T spaced coefficients. IEE Trans. Commun., vol. 35, no.9, pp.869-876. Sept.1987.

6. Van de Beek J.J., Sandell M., Isaksson M. and Borjesson. Low-Complex Frame Synchronization in OFDM Systems. Proceedings of International Conference on Universal Personal Communications ICUPS 95 nov.1995.

7. Moose P. H. A Technique for Orthogonal Frequency Division Multiplexing frequency offset correction. IEEE Trans. Comm., 1994, vol. 42, № 10, pp.2908–2914? Oct.1994.

8. ETSI ES 201 980 V2.2.1 (2005-10) V4.2.1 (2021-01). Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification. p.184.

9. Рекомендация МСЭ-R BS.1660-8 (06/2019). Техническая основа для планирования наземного цифрового звукового радиовещания в полосе ОВЧ. Серия BS Радиовещательная служба (звуковая). С.33–49.

10. Гуминский О.А. Модель приемо-передающего тракта системы цифрового радиовещания DRM+. URL: https://cloud.mail.ru/public/AxE9/9nJmYeYHv (дата обращения 10.02.2025).

11. Гуминский О. А., Ковалгин Ю. А. Исследование и оценка требуемой точности временной синхронизации приемного оборудования в системе цифрового радиовещания DRM mode E// Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2024. Т. 3. С. 201–205.

12. ETSI EN 302 245-1 V1.1.1 (2005-01). Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Transmitting equipment for the Digital Radio Mondiale (DRM) broadcasting service; Part 1: Technical characteristics and test methods. p. 23

13. Дубов М.А. Методика неэталонной оценки отношения сигнал/шум и вероятности битовой ошибки для сигналов с квадратурной модуляцией // Цифровая обработка сигналов, 2012. №4.2012. С. 37–43.

14. Соколов, С.А. Исследование аналого-цифровой DRM/ЧМ-зоны радиовещания в полосе частот 87,5–108 МГц / С. А. Соколов, С. В. Мышьянов, Ю. А. Ковалгин // Электросвязь, 2021. №4. С. 23–29.

15. Ковалгин Ю. А. Построение опытной аналого-цифровой зоны радиовещания DRM+/УКВ ЧМ в диапазоне 87,5–108 МГц: отчет о НИР // Ю. А. Ковалгин, С. А. Соколов, С. В. Мышьянов и др. Дигитон Системс, 2019. 223 с.

ABOUT ACCURACY OF TIME SYNCHRONIZATION IN DRM RECEPTION

Kowalgin Y., Guminskiy O.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

For different types of modulation and protection levels of the DRM digital radio broadcasting system when operating in the E robust mode, the maximum permissible values of the time shift between the start of the direct discrete Fourier transform and the beginning of the useful (informational) part of the OFDM signal, at which the conditions of comfortable reception are still provided, are obtained.

Key words: *OFDM symbol synchronization, digital broadcasting*

УДК 377, 378
ГРНТИ 14.85

АРХИТЕКТУРЫ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ

И. С. Ковалев, О. И. Пантюхин, Г. А. Рябов, Б. В. Солодухин

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье рассмотрены возможности применения элементов искусственного интеллекта на разных уровнях управления в архитектурах современных инфотелекоммуникационных систем для повышения эффективности управления и оптимизации использования ресурсов. Предложен вариант обобщенной архитектуры такой системы, поддерживающей совместную оптимизацию сети и приложений в единой интегрированной среде, состоящей из четырех основных уровней.

инфотелекоммуникационные сети, нейронные сети, искусственный интеллект, архитектура инфотелекоммуникационных систем, уровни управления, интеллектуальное управление

В настоящее время невозможно представить хоть сколь-нибудь значимую информационно-телекоммуникационную (ИТК) структуру без элементов искусственного интеллекта (ИИ). Нейронные сети широко используются для анализа потоков данных в реальном времени, обнаружения аномалий и оптимизации сетевых процессов такими гигантами телекоммуникационной индустрии как AT&T, Huawei или Cisco [1]. Дальнейшая конвергенция вычислительной техники и коммуникаций открывает широкие возможности для этих технических сообществ, которые сегодня стремятся изменить парадигму сетевых систем искусственного интеллекта. С одной стороны, распределенный ИИ внедряется во все элементы сети, то есть в облака, серверы, периферийные устройства, терминалы, что позволяет ИИ фактически функционировать как сетевой системе. С другой стороны, благодаря развитию программно-определяемых сетей и виртуализации сетевых функций (SDN/NFV) [2], коммуникационная сеть сама работает уже как система ИИ, предоставляя интеллектуальные услуги в режиме реального времени.

Внедрение ИИ в сети связи, инфотелекоммуникационные системы и автоматизированные системы управления обусловлено явными преимуществами этого подхода, однако требует и ответа на имеющиеся вызовы [3].

Традиционные интернет-протоколы (TCP/IP) зачастую не справляются с обеспечением динамики сетей нового типа (мобильность, изменения топологии, перераспределение ресурсов и др.). Благодаря развитию SDN/NFV практически для каждого интеллектуального сервиса можно создать динамическую сеть, ориентированную на обслуживание; при этом в виртуальной сервисной сети, в свою очередь, должны быть разработаны новые сетевые протоколы для поддержки распределенных вычислений с использованием искусственного интеллекта.

Попытки решить возникающие проблемы принимались неоднократно. Среди них стоит выделить разработку возможных архитектур сетей связи, а точнее, информационно-телекоммуникационных сетей с искусственным интеллектом (ИТКС ИИ).

В целом – в соответствии с указанными выше основными направлениями развития – все предлагаемые архитектуры можно разделить на две основные категории: "искусственный интеллект для сетей" и "сети для искусственного интеллекта".

Примером первого направления может служить разрабатываемая архитектура трехуровневой “Network AI” для сотовой связи шестого поколения (6G). Ее основная идея заключается в самообучающихся стратегиях управления в SDN, где наряду с традиционными уровнями инфраструктуры и управления [4], добавлен уровень сетевого ИИ (СИИ). Традиционные стандарты мобильной связи разрабатывались для повышения производительности сотовой сети за счет использования большего количества радиоресурсов, улучшения спектра и энергоэффективности. Мобильные системы 6G нацелены на решение проблемы удовлетворения различных требований пользователей и гарантирования каждому качества коммуникации за счет использования разнородных сетевых ресурсов и ИИ для поддержки индивидуальных сервисов в любом месте и в любое время. Такая архитектура СИИ может стабильно обеспечивать более высокий коэффициент удовлетворения пользователя, чем архитектуры облачного или пограничного ИИ, в отношении различных алгоритмов планирования задач, случайных требований к обслуживанию и динамических условий сети [5].

Ко второй категории относится архитектура сети, функционирующей на основе ИИ, в которой динамически осуществляется управление ресурсами периферийных вычислений и кэшированием, что повышает эффективность мобильной телекоммуникационной системы [6].

Предлагались и гибридные варианты, например, архитектура распределенной сотовой сети, интегрирующая ИИ и технологию когнитивного радио (КР) в сложную многоагентную систему. Рассматривалась, к примеру, иерархическая четырехуровневая (КР; услуги сотовых BSS – систем поддержки бизнеса; облака; приложения) распределенная сетевая структура, основанная на сотовых сетях 5G.

Резюмируя, можно отметить, что любая современная ИТКС как технологическая инфраструктура включает телекоммуникационную составляющую: комплекс сетей связи, построенных на базе технологии коммутации пакетов по протоколу IP, и информационную составляющую, представляющую собой центры обработки данных и отдельные серверы, объединенные системой адресации и наименований. Учитывая новаторские исследования по интеграции ИИ с сетью связи, можно предложить вариант обобщенной архитектуры ИТКС ИИ, поддерживающей совместную оптимизацию сети и приложений/подсистем в единой интегрированной среде, состоящий из четырех основных уровней: интегральной транспортной среды (ИТС); виртуальной интеллектуальной сети (ВИС); общей информационно-сервисной среды (ИСС); интерфейсная среда прикладных услуг и приложений (СПУП).

ИТС состоит из гетерогенных (оптических, беспроводных и других) физических и транспортных инфраструктур, включая, например, сети радиодоступа, коммутаторы, базовые сети, облачные серверы, мобильные/пограничные серверы и мобильные/терминальные устройства. Он также может включать инфраструктуры разных операторов, которые работают вместе для предоставления унифицированных интеллектуальных услуг. Текущие IP-адреса, могут поддерживаться на уровне ИТС для совместимости с уровнем ВИС в качестве базовой сетевой инфраструктуры.

Уровень ВИС создает и поддерживает настроенную на обслуживание ИТС виртуальную сеть, которая включает ряд функциональных абстракций, таких как управление топологией, распределение ресурсов, транспортировка и пересылка данных, маршрутизация, балансировка нагрузки, безопасность, разделение сети. Уровень ВИС обеспечивает сопряжение и совместимость с верхними уровнями.

Уровень ИСС осуществляет внутрисетевую пересылку, хранение, поиск и обработку информации с помощью распределенного искусственного интеллекта на подуровне данных, объединяя вычислительные ресурсы, внутренние информационные ресурсы и ресурсы внешних информацион-

ных порталов. В ИСС динамически настраивается ИТС, осуществляется управление ВИС, а также взаимодействие с прикладными средами конечных пользователей и технического персонала самой ИТКС. Таким образом, любая пара сеть/приложение может быть совместно оптимизирована для предоставления пользователям «умных» сервисов в режиме реального времени, где требования как к сетевым ресурсам, так и к приложениям могут быть мягкими и изменяться с течением времени. То есть, ИСС работает как промежуточная программная платформа, которая стыкует сложные сетевые вычисления и обработку данных с интеллектуальными приложениями верхнего уровня, осуществляя управление и оркестрацию отдельных логических (виртуальных) компонентов системы. Она также решает задачи аутентификации, авторизации и учета для подписанных пользователей «умных» сервисов.

Уровень прикладных услуг и приложений ИТКС ИИ запрограммирован на предоставление пользователям, предприятиям, муниципалитетам, учреждениям и иным государственным, частным и общественным образованиям принципиально новых возможностей, создавая новые интернет-горизонты, выходящие за рамки распространенного сегодня 4G/мобильного Интернета, и объединяя киберпространство с физическим миром и человеческим обществом.

Обобщенная архитектура ИТКС ИИ, опирающаяся на архитектуру SDN и технологию NFV, в большей части реализуется программно (кроме OSS/BSS, которые унаследованы от традиционной физической инфраструктуры оператора), что позволяет полностью разделить оборудование и программное обеспечение, автоматизировать масштабированное развертывание сетевых функций, динамически мониторить и управлять операционными параметрами ИТКС.

При этом нет необходимости выделять СИИ в отдельный независимый уровень ИТКС, поскольку он распределен по каждому из трех высших уровней в части, наиболее подходящей для решения конкретных уровневых задач. Этим обеспечивается возможность совершенствовать «интеллектуальность» телекоммуникационной сети, не нарушая основных принципов ее построения и алгоритмов работы. Современное развитие физической инфраструктуры, особенно на оконечных беспроводных пользовательских участках (адаптивные, самоорганизующиеся, мобильные), позволяет сегодня обходиться новыми подходами без прямого участия ИИ, однако в перспективе ввиду бурного роста сетевого трафика, развития облачных техно-

логий, больших данных, интернет вещей и трудности масштабирования существующих транспортных сетей, переход на технологии SDN/NFV и на этом уровне неизбежен. Интеллект будет изначально встроен в системы связи по подобию Network AI для 6 поколения сотовой связи.

Список используемых источников

1. Рябов Г. А. Применение нейронных сетей в сфере телекоммуникаций// Тенденции развития науки и образования №112-2, август 2024. Изд. Науч. центр «LJournal». Самара, 2024. С. 192–195.

2. Troia S. et al., "Machine learning-assisted planning and provisioning for SDN/NFV-enabled metropolitan networks", Proc. EuCNC, pp. 438-442, Jun. 2019.

3. Яровой Р. В., Рябов Г. А., Карганов В. В., Технологии искусственного интеллекта в автоматизированных системах управления связью // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 103-8. С. 198–200.

4. Джураев Р. Х. Переход сетевых технологий передачи данных к SDN/NFV / Р.Х. Джураев, С. Р. Ботиров, Д. Ш. Ускенбаева. Текст: непосредственный // Молодой ученый, 2022. № 44 (439). С. 18–23. URL: https://moluch.ru/archive/439/95416/ (дата обращения 10.12.2024).

5. Янг Янг, Мулей Ма и др. Архитектура искусственного интеллекта сети 6G для всех - индивидуальные сервисы, ориентированные на клиента. URL: https://arxiv.org/abs/2205.09944/ (дата обращения 19.12.2024).

6. Dai Y., Xu D., Maharjan S., Qiao G. and Zhang Y. Artificial intelligence empowered edge computing and caching for Internet of Vehicles // IEEE Wireless Commun., 2019, vol. 26, № 3, pp. 12-18.

ARCHITECTURES OF INFOTELECOMMUNICATION NETWORKS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Kovalev I., Pantiukhin O., Ryabov G., Solodukhin B.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The article discusses the possibilities of using artificial intelligence elements at different levels of management in the architectures of modern infotelecommunication systems to improve management efficiency and optimize resource use. A variant of a generalized architecture of such a system is proposed, supporting joint optimization of the network and applications in a single integrated environment consisting of four main levels.

Key words: *infotelecommunication networks, neural networks, artificial intelligence, architecture of infotelecommunication systems, control levels, intelligent control*

УДК 621.39
ГРНТИ 47.41

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ СИНХРОНИЗАЦИИ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ С ПОДКЛЮЧЕНИЕМ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

О. А. Кривов[1], А. А. Козлов[1], Е. А. Пиликина[2], Н. В. Чикалов[1]

[1]Научно-исследовательский институт "Рубин"
[2]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной статье представлен обзор и анализ методов синхронизации в гетерогенных сетях связи с подключением киберфизических систем, с характернной высокой плотностью размещения устройств. Рассмотрены перспективные направления развития технологий синхронизации. Проведены эксперименты, направленные на передачу временных меток через радиоканал, на основе которых проанализированы факторы, влияющие на точность синхронизации. Выдвинута гипотеза о достижении высокой точности синхронизации, достаточной для практического применения в распределенных системах управления.

Целью исследования является установка высокой точности при передаче меток времени в гетерогенных сетях связи с применением микроконтроллеров. Результаты могут быть использованы для разработки более эффективных алгоритмов синхронизации, повышения надежности взаимодействия устройств и улучшения временной согласованности в киберфизических системах, а также для проведения дальнейших исследований в области распределения синхронизации в киберфизических системах.

сигналы синхронизации, киберфизические системы, временная синхронизация, частота синхронизация

Введение

Процесс синхронизации имеет особое значение для функционирования киберфизических систем в таких областях, как системы умных городов, транспортные системы, системы умного дома, автоматизированные и производственные системы. Рассматриваемые киберфизические системы функционируют в условиях реального времени, поэтому требуется ведение единой точной шкалы времени. По прогнозу компании Market Research Intellect, с 2023 по 2031 год мировой рынок киберфизических систем, использующихся в гетерогенных сетях, будет значительно расширяться [1]. При этом ожидается устойчивый рост на 21,2 % в период с 2022 по 2030 год, и к 2030 году его стоимость составит около 74,6 млрд долларов США [2].

По данным компании Data Bridge Market Research, в 2021 году мировой рынок гетерогенных сетей оценивался в 28,76 млрд долларов США, а к 2029 году его стоимость должна достичь 79,15 млрд долларов США при среднегодовом темпе роста 13,49 % [3].

Киберфизические системы состоят из различных типов устройств, которые используют протоколы связи (BLE, LoRa, Zigbee). Существующие способы синхронизации предназначены для технологиии PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy, плезиохронная цифровая иерархия), а также и для компьютерных сетей.

В свою очередь, совокупность компьютерных сетей, сетей связи с подключением киберфизических систем представляют собой гетерогенные сети. Поэтому существующие методы, способы синхронизации необходимо адаптировать для применения в киберфизических системах [4].

Основная часть

Киберфизические системы нередко представляют собой автономные устройства, поэтому возникает проблема распределения точного единого времени для обеспечения согласованной работы в условиях реального времени. Основной особенностью таких систем является их автономность: отдельные устройства работают без постоянного подключения к централизованной системе управления или друг к другу.

Поэтому возникает необходимость в синхронизации работы данных устройств, так как эффективное взаимодействие которых невозможно без согласования во времени [5].

В основу работы положена гипотеза о возможности распределении единого точного времени с заданной точностью в гетерогенных сетях связи с подключением киберфизических систем посредством радиоканала.

Цель исследования – установить достижимую точность при передаче меток времени.

С развитием сетей связи, характеризующимся повышенной плотностью размещения устройств происходит неизбежное изменение требований к процессам синхронизации, а также к программно-аппаратным средствам, реализующим методы синхронизации [6].

В этой связи возникают новые направления исследований, которые, безусловно, заслуживают особого внимания. Рассмотрим более подробно.

Различают: частотную, фазовую и временную синхронизацию [7]:

– Частотная синхронизация означает согласованность генераторов различных цифровых устройств в сети по частоте. В этом случае все генераторы работают с одинаковой частотой, скорость передачи цифровой информации с высокой степенью точности равна скорости приема [7].
– Фазовая синхронизация предполагает соответствие фаз приемного и передающего сигналов. Наиболее важна эта синхронизация внутри различных электронных устройств [7].
– Временная синхронизация (синхронизация по времени) предусматривает, что все устройства в сети имеют единое время. Это время обычно согласуется со всемирным скоординированным временем (UTC) [7].

В рамках данной статьи была рассмотрена фазовая синхронизация и получены результаты измерений ошибки временного интервала.

В современных киберфизических системах используют, как один из вариантов, микроконтроллеры из серии STM32 [8].

Для проведения исследований был собран макет, схема которого представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Функциональная схема макета

В качестве ведущего и ведомого устройства выбран контроллер STM32 H743ZI2, к которому был подключен приемник ГЛОНАСС, передающий сигнал 1 PPS (рис. 2). Передача временной метки происходила посредством радиоканала (два модуля nrf24l).

На рисунке 2 представлены результаты измерения ОВИ сигнала 1PPS ведущего устройства:

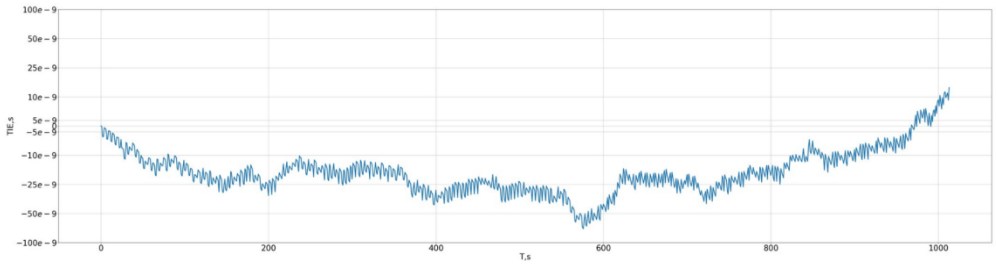


Рис. 2. Результаты измерения ОВИ сигнала 1PPS ведущего устройства

На графике (рис.2) видно измерение ОВИ сигнала 1 PPS со спутника системы ГЛОНАСС, которая находится в пределах [$+10 \cdot 10^{-9}$; $-50 \cdot 10^{-9}$], МОВИ не превышает $60 \cdot 10^{-9}$ за время измерения 1000 с.

На рисунке 3 представлены результаты измерения ОВИ подстроенной по фазе метки времени 1PPS ведомого устройства:

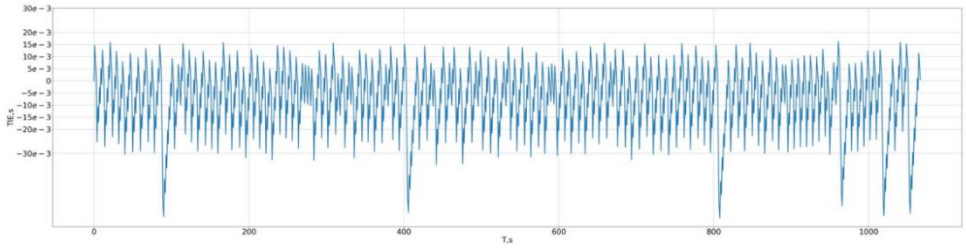


Рис. 3. Подстроенная по фазе метка времени 1PPS

На графике (рис. 3) показаны результаты измерений ОВИ в процессе программной подстройки ведомого устройства, которое находится в пределах [$+15 \cdot 10^{-3}$; $-30 \cdot 10^{-3}$] за время измерения 1000 с. Наблюдаемые скачки вниз свидетельствуют о потере пакета радиомодулем и последующей отправке повторного пакета, что приводит к большим расхождениям. Также столь низкая точность, по сравнению с 1PPS, полученным от системы ГЛОНАСС, обусловлена программной реализацией алгоритма ФАПЧ обработки низкоточным кварцевым резонатором, встроенным в отладочную плату микроконтроллера. Эти два фактора оказывают наибольшее влияние на точность синхронизации.

Для улучшения качества подстройки и удержания шкалы времени рекомендуется использовать ультрапрецизионные термостатированные кварцевые генераторы в составе ведомых устройств.

Выводы

1. Программная обработка меток времени не подходит для систем жесткого реального времени поскольку наблюдаем существенное ухудшение качества сигнала синхронизации.

2. Полученные результаты можно использовать для ведения логов, журналов, синхронизации систем, в которых допустимое время реакции в пределах 100 милисекунд.

3. В киберфизических системах для получения требуемого результата рекомендуется использовать прецизионные термостатированные кварцевые генераторы.

4. Для улучшения точности синхронизации рекомендуется использовать радиомодули, которые позволят установить более стабильную связь между ведущим и ведомым устройствами.

Заключение

В рамках настоящей статьи было проведено исследование, посвященное распределению сигналов синхронизации в гетерогенных сетях связи с подключением киберфизических систем. В ходе исследования были достигнуты удовлетворительные результаты точности при передаче сигнала синхронизации посредством радиоканала, однако вопросы достижения более высокой точности передачи времени остаются открытыми.

В настоящее время сети синхронизации для киберфизических систем (БЛА, БТС) активно изучаются и развиваются как в России, так и за рубежом. Данное исследование может служить основой для разработки устройств частотно-временного обеспечения для КФС.

Список используемых источников

1. Heterogeneous Networks Market. URL: https://www.marketresearchintellect.com /ru/product/heterogeneous-networks-market (lata обращения 19.02.2025).

2. Heterogeneous Network Market Report. URL: https://www.marketre-search-future.com/reports/heterogeneous-network-market-4643, свободный. (lata обращения 19.02.2025).

3. Global Heterogeneous Networks Market. URL: https://www.databridgemar-ket-research.com/ru/reports/global-heterogeneous-networks-market (дата обращения 19.02.2025).

4. Синхронизация в сетях нового поколения // CNews. URL: https://telecom.cnews.ru/articles/sinhronizatsiya_v_setyah_novogo_pokoleniya (дата обращения 19.02.2025).

5. Собственный рой беспилотников – возможно ли? // Robotrends. URL: https://robotrends.ru/pub/1603/sobstvennyy-roy-bespilotnikov---vozmozhno-li, свободный. (дата обращения 19.02.2025).

6. Тонких Е. В. Исследование и разработка методов адаптивного управления ресурсами гетерогенных беспроводных сетей: дис. … канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций, 2020. URL: https://www.sut.ru/doci/nauka/1AEA/DS_Tonkich/Tonkich_EV_diss.pdf (дата обращения 19.02.2025).

7. Бакланов И. Г. Технологии измерений первичной сети. Ч. 2. Системы синхронизации в B-ISDN, ATM. М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000. 149 с. Гл. 1.1. С. 6–8.

8. Improved RSA with Enhanced Security on STM32 84MHz // Researcher. URL: https://discovery.researcher.life/article/improved-rsa-with-enhanced-security-on-stm32-84mhz/78928f8aa8ea3ffb9d359ecf21f91417?utm_source=chatgpt.com, свободный. (дата обращения 19.02.2025).

MODEL OF DISTRIBUTION OF SYNCHRONIZATION SIGNALS IN HETEROGENEOUS COMMUNICATION NETWORKS WITH CONNECTION OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Krivov O., Kozlov A., Pilikina E., Chikalov N.
Research Institute "Rubin"
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article presents a review and analysis of synchronization methods in heterogeneous communication networks with the integration of cyber-physical systems, characterized by a high device density. Promising directions for the development of synchronization technologies are considered. Experiments focused on the transmission of timestamps over a radio channel were conducted, based on which factors affecting synchronization accuracy were analyzed. A hypothesis is proposed regarding the achievement of high synchronization accuracy sufficient for practical use in distributed control systems.

The aim of the study is to achieve high accuracy in timestamp transmission within heterogeneous communication networks using microcontrollers. The results can be used to develop more efficient synchronization algorithms, improve device interaction reliability, and enhance temporal consistency in cyber-physical systems, as well as to conduct further research on synchronization distribution in cyber-physical systems.

Key words: *synchronization signals, cyber-physical systems, time synchronization, synchronization frequency*

УДК 681.5
ГРНТИ 71.01.85

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ИНТЕГРАЦИИ НЕЙРОСЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ТИПОВОГО ХОККЕЙНОГО СТАДИОНА

А. А. Крылов, Д. А. Корнюшкин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Статья посвящена анализу проблем, связанных с интеграцией нейросетевых регуляторов в автоматизированных системах управления для типовых хоккейных стадионов. В работе рассмотрены особенности и потенциальные негативные последствия использования нейронных сетей для оптимизации работы инженерных систем таких объектов, включая системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и освещения. Особое внимание уделено вопросам адаптации существующих автоматизированных систем к новым требованиям, связанным с внедрением нейросетевой технологии, а также проблемам интеграции нейросетей с уже установленными системами управления. Проанализированы возможные проблемы при реализации данного подхода, такие как, необходимость обеспечения высокой точности прогнозирования и учета специфики эксплуатации спортивных сооружений.

нейросетевой регулятор, интерпретируемость, переобучение, риски отказа, ограничения, задержка отклика

Применение нейронных сетей в качестве регуляторов в автоматизированных системах управления становится все более популярным благодаря их способности адаптироваться к сложным нелинейным системам и справляться с неопределенностями. Однако этот подход сопровождается значительными проблемами, такими как, точность моделирования, устойчивость системы, безопасность и надежность [1].

Задержка отклика

Инерционность в работе оборудования представляет собой одну из ключевых проблем при внедрении нейросетевого регулятора (НР) в автоматизированных системах управления хоккейного стадиона. Эта проблема выражена в задержки отклика, он заключается в том, что после получения управляющего сигнала проходит некоторое время до момента, когда оборудование начинает изменять свои параметры [2,3]. Для решения этой задачи необходимо разработать такой алгоритм обучения нейросетевого регуля-

тора, который учитывает инерционные свойства оборудования и позволяет ему прогнозировать поведение системы с учетом временных задержек [4]. Регулятор должен уметь плавно корректировать параметры работы оборудования, обеспечивая постепенное приближение к целевому состоянию, имея предопределенную информацию об инерционности работы соответствующего оборудования, избегая резких скачков и колебаний. Это позволит минимизировать влияние инерционных факторов, повысить точность и стабильность работы системы управления хоккейного стадиона [5].

Определение границ принятия решений нейросетевым регулятором

Механизм принятия решения нейросетевым регулятором, при котором он определяет, что ключевое решение должно быть передано оператору, основан на сочетании нескольких критериев и процедур. Первым шагом является постоянный мониторинг и анализ текущей ситуации, НР собирает данные с различных сенсоров и датчиков, установленных, например, на хоккейном стадионе, и анализирует их в реальном времени, полученные данные включают в себя температуру, влажность, уровни освещенности, состояние вентиляции и многие другие параметры [6]. Регулятор сопоставляет текущие показатели с установленными нормами и стандартами, чтобы определить, находится ли система в пределах допустимых значений, если система обнаруживает отклонение от нормы, она сначала пытается скорректировать ситуацию самостоятельно, например, если температура начинает повышаться, регулятор может включить систему охлаждения, однако, если отклонение превышает определенный порог или продолжает нарастать, несмотря на предпринятые меры, регулятор переходит к следующему шагу [7]. На этом этапе регулятор анализирует сложность возникшей ситуации, он использует встроенные алгоритмы и правила, чтобы оценить, насколько сложная задача стоит перед ним, если задача выходит за рамки стандартных операций, которые он может выполнить самостоятельно, регулятор сигнализирует об этом оператору. Следующим шагом является передача права решения задачи оператору, регулятор отправляет уведомление оператору, содержащее всю необходимую информацию о текущем состоянии системы и причинах, по которым он не смог справиться с ситуацией самостоятельно, это может быть связано с техническими сбоями, необходимостью тонкой настройки или возникновением непредвиденных обстоятельств [8]. Оператор, получив уведомление, оценивает ситуацию и принимает решение о дальнейших действиях, он может изменить настройки системы, провести дополнительные те-

сты или предпринять другие меры для стабилизации работы стадиона. В случае крайней необходимости оператор может отключить некоторые функции системы или перевести управление в ручной режим, после того как оператор принял решение и выполнил необходимые действия, система возвращается к своему обычному режиму работы [9]. Нейросетевой регулятор снова берет на себя управление основными функциями, продолжая следить за состоянием среды и реагировать на изменения. Данный механизм позволяет обеспечить баланс между автоматизацией и человеческим вмешательством, гарантируя, что ключевые решения принимаются квалифицированным специалистом в тех случаях, когда это необходимо.

Заключение

Для стабилизации работы нейросетевого регулятора в автоматизированных системах управления для типового хоккейного стадиона, предлагается использовать многоуровневую систему управления, в которой работа НР и оператора контролируется дополнительным нейросетевым регулятором, в автоматическом режиме, с целью наблюдения и анализа потенциальных рисков, и принятия экстренных решений в случае работы системы в аварийном режиме [10]. Этот дополнительный регулятор выполняет функцию наблюдателя, анализируя поведение основного регулятора и оператора, чтобы выявить возможные аномалии, ошибки или критические ситуации. Он наблюдает за принятыми решениями и действиями основного регулятора, сравнивая их с эталонными моделями поведения, и сигнализирует о любых отклонениях, которые могут свидетельствовать о проблемах, таких как переобучение, параллельно он контролирует действия оператора, проверяя их соответствие установленным протоколам и стандартам безопасности, и способен обнаружить ошибки, вызванные человеческим фактором [11]. Если система замечает признаки вероятного возникновения аварийной ситуации, например, резкое изменение температурных режимов или нарушение работы вентиляционной системы, она предупреждает оператора и предлагает корректирующие меры, кроме того, на основе анализа работы основного регулятора и оператора, нейросеть осуществляющая функцию наблюдения, предоставляет рекомендации по улучшению их взаимодействия и предотвращению будущих ошибок, способствуя постоянному совершенствованию и адаптации системы к новым условиям. Таким образом, предложенная многоуровневая система обеспечивает максимальную безопасность и надежность функционирования хоккейного стадиона.

Также для стабилизации системы необходимо иметь возможность управлять ей в ручном режиме, в случае отключения или сбоя в режиме работы нейросетевого регулятора. Это обеспечивает гибкость и устойчивость системы, позволяя оператору взять контроль над процессом, если принятые решения системой становятся ненадежными или неэффективными, данный режим особенно важен в аварийных ситуациях, когда требуется быстрое реагирование для предотвращения аварий или других нежелательных последствий. Основные аспекты ручного управления включают резервирование основных функций НР, предоставление интерфейсов и инструментов для оперативного вмешательства. В таких системах необходимо применять элементы механической защиты системы в сочетании с нейросетевыми регуляторами, несмотря на значительный прогресс в области искусственного интеллекта, нейросети все еще обладают ограничениями, такими как сложность в прогнозировании редких событий или обработка нестандартных ситуаций, выходящих за пределы их обучающих данных.

Список используемых источников

1. Глава ООН: искусственный интеллект должен служить на благо всего человечества // Официальный сайт ООН. URL: https://news.un.org/ru/story/2023/07/1442627 (дата обращеия 21.02.2025).

2. Горячева О. Е., Евстигнеева О. А., Сидоров В. В. Проблемы развития технологий применения искусственного интеллекта в условиях цифровой экономики // Международный студенческий научный вестник, 2018. № 4–6.

3. Леонов А. В., Пронин А. Ю. Новая парадигма искусственного интеллекта // Компетентность, 2023. № 2. С. 37–46. DOI: https://doi.org/10.24412/1993-8780-2023-2-37-46. EDN: https://elibrary.ru/eygwug.

4. Кузнецова И. О., Шляпина Ю. В. Возникновение искусственного интеллекта, его преимущества и недостатки // Цивилизационные перемены в России: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург, 2023. С. 83–87.

5. Василевская Л. Ю. Искусственный интеллект: проблемы гражданско-правовой квалификации // Вестник Университета имени О. Е. Кутафина (МГЮА). 2023. № 5 (105). С. 32–40. DOI: https://doi.org/10.17803/2315998.2023.105.5.032-040. EDN: https://elibrary.ru/hkgagm.

6. Макаров И. Д., Панов А. В. Искусственный интеллект. Перспективы развития // European Journal of Natural History, 2022. № 2. С. 71–75.

7. Карцхия А. А. Искусственный интеллект как средство управления в условиях глобальных рисков // Мониторинг правоприменения, 2020. №1 (34). DOI: 10.21681/2226-0692-2020-1. – С. 53–58.

8. Морхат П. М. К вопросу о специфике правового регулирования искусственного интеллекта и о некоторых правовых проблемах его применения в отдельных сферах // Закон и право, 2018. № 6. С. 63–67.

9. Ладыжец Н. С. Социальные аспекты управления рисками и возможностями опережающего развития нейростей // Вестник Удмуртского университета, 2023. № 7 (5). С. 189–197

10. Романова И. Н. Внедрение технологий искусственного интеллекта: анализ вероятных рисков и возможных угроз // Материалы Ивановских чтений, 2021. № 4 (35). С. 15–19.

11. Архипова Н. И. Тенденции цифровизации управления персоналом в современной России // Актуальные проблемы управления в условиях цифровой экономики России: Всерос. науч. конф.: Сб. статей. Москва, 1 апреля 2020 г.: VII Сперанские чтения. М.: РГГУ, 2020. С. 10–16.

ANALYSING THE PROBLEMS OF NEURAL NETWORK REGULATOR INTEGRATION IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR A TYPICAL HOCKEY STADIUM

Krylov A., Kornyushkin D.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article is devoted to the analysis of problems associated with the integration of neural network regulators (NNR) in automated control systems (ACS) for typical hockey stadiums. The paper considers the peculiarities and potential negative consequences of using neural networks to optimise the operation of engineering systems of such facilities, including heating, ventilation, air conditioning and lighting systems. Special attention is paid to the issues of adaptation of existing ACS to new requirements associated with the introduction of neural network technology, as well as the problems of integration of neural networks with already installed control systems. Possible problems in the implementation of this approach, such as the need to ensure high accuracy of forecasting and the need to take into account the specifics of the operation of sports facilities, are analysed.

Key words: *Neural network regulator, interpretability, overtraining, failure risks, constraints, response delay.*

УДК 681.5
ГРНТИ 71.01.85

ВНЕДРЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА В ПОДСИСТЕМУ МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБЪЕКТА ПРИ ПОМОЩИ КВАДРОКОПТЕРА

А. А. Крылов, Д. А. Корнюшкин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной работе рассматривается разработка и внедрение нейросетевого регулятора в подсистему мониторинга для обнаружения дефектов поверхностей объекта с использованием квадрокоптера. Представлены результаты исследования, направленные на повышение точности и эффективности обнаружения дефектов на различных поверхностях. Основное внимание уделяется созданию и обучению нейросетевой модели, способной обрабатывать видеопотоки, поступающие с камеры квадрокоптера, и идентифицировать дефекты в реальном времени. Подробно описаны этапы проектирования и тестирования разработанной системы, а также проведен анализ ее функциональных характеристик. Результаты исследования демонстрируют высокую точность и надежность предложенного подхода, что подтверждает его перспективность для практического применения в различных отраслях промышленности.

нейросетевой метод управления, беспилотный летательный аппарат, метод Кэнни, синтетические данные, прогнозирование, обнаружение дефектов

Современные промышленные объекты требуют эффективного и своевременного мониторинга для обеспечения безопасности и долговечности конструкций. Одной из ключевых задач в этом направлении является обнаружение дефектов на поверхности объектов, что традиционно выполняется вручную или с использованием наземных устройств.

Нейросетевой метод управления

Суть нейросетевого метода управления беспилотными летательными аппаратами заключается в создании многоуровневого алгоритма, способного к самостоятельному принятию решений по дальнейшему исследованию объекта.

В качестве первоначальной задачи после определения цели полета формируется их параметры и граничные области, в качестве примера можно рассмотреть полет из точки A1 в точку A2. В общем случае данные перемещения будет является движением не по прямой что будет связано с избега-

нием столкновения и наличием на пути облета препятствий. Данную задачу мы сформировали для внешнего контура управления, на втором этапе мы осуществляем коррекцию заданных параметров в соответствии с функциональными возможностями устройства исходя из планирования движения, осуществляется расчет траектории полета [1]. Траектория полета разделяется, в общем случае, на не эквидистантные участки, таким образом, что при соблюдении необходимых параметров полета траектория была близка к планируемой, данная задача решается на среднем контуре управления. Внутренний контур управления состоит из нескольких функциональных частей таких как совокупность нейросетевых регуляторов, отвечающих за движение по предопределенным траекториям, блок коррекции алгоритма, отвечающий за коррекцию траектории в соответствии с полевыми испытаниями [2]. Третьим блоком является блок создания новых полетных листов, основанный на многократности испытания и систематических повторениях типовых маневров. Блок нейронной сети используется для автоматического вычисления необходимых управляющих воздействий в зависимости от изменения параметров полета, полетной программы и необходимой точности проведения измерений. Использование нейронной сети в данном случае удобно тем, что она позволяет корректировать воздействие от заранее не предопределенных помех и внешних воздействий так, например, при наличии птицы на пути следования квадрокоптера необязательно предопределять ее наличие в системе и специально задавать параметры движения система окажет необходимое воздействие для избегания столкновения в режиме реального времени в зависимости от действий приближающегося объекта, аналогичные действия будут предприняты системой при наличии резко изменяемой ветровой нагрузки , являясь хорошим быстродействующим интегратором и аппроксиматором, однако нейросеть требует обучения в частности о возможности наличия других летающих объектов на пути следования [3,4]. То есть необходимо как предусмотреть наличие того или иного явления, так и вычислить коэффициенты весовой матрицы, то есть провести обучение системы.

Задача прогнозирования повреждений объекта

Нейросетевой регулятор обучен определять нормативный уровень состояния конструкции на основании исторических данных об объекте, после появления новых данных, подсистема производит сравнительный анализ с эталонными значениями и выявляет аномалии. Например, если напряжение

в материале превышает установленный порог, нейросеть сигнализирует об этом [5, 6]. После обнаружения аномалии нейросетевой регулятор классифицирует типы повреждений как: механические, химические, биологические, физические, конструктивно-технологические и эксплуатационные [7]. В случае получения сигнала тревоги беспилотный летательный аппарат готовится к вылету, оператор или нейросетевой регулятор определяет оптимальный маршрут до места предполагаемой неисправности, маршрут учитывает текущие погодные условия, препятствия и ограничения воздушного пространства [8]. Так же перед полетом оператор проверяет камеры, сенсоры и другое оборудование на работоспособность, после пройденной проверки БПЛА взлетает и направляется к цели, следуя по заданному маршруту. Прибыв на место, БПЛА начинает обследование локации повреждения, используя GPS, дрон точно позиционируется над заданной точкой, делает снимки и видео с разных ракурсов, чтобы охватить всю зону предполагаемого повреждения. Полученная информация передается в режиме реального времени на наземную станцию управления, где операторы могут наблюдать за процессом и корректировать действия дрона, далее активируется протокол обнаружения дефектов [9].

Прогнозирование и обнаружение дефектов

Модель для прогнозирования появления или увеличения трещин в металлоконструкциях основывается на методе конечных элементов (МКЭ). Основная цель такой модели – предсказать вероятность появления новых трещин или увеличение уже существующих на основе исторических данных, текущих условий эксплуатации и характеристик материала.

Метод конечных элементов (МКЭ)

– Моделирование конструкции: Создание трехмерной модели металлоконструкции с учетом всех ее особенностей.
– Разбиение на конечные элементы: Разделение модели на мелкие элементы для точного расчета напряжений и деформаций.
– Расчет напряженно-деформированного состояния: Решение уравнений равновесия для нахождения распределений напряжений и деформаций в конструкции.

Для решения задачи классификации дефектов была использована нейросеть Res-UNet. Данные для обучения сети брались из архивов видео-

материалов и фотографий прошлых повреждений, зафиксированных при съемке реальных инфраструктурных объектов [10]. Кадры предварительно размечались вручную под конкретную задачу, затем выполнялось их кадрирование на фрагменты размером 256x256 пикселей. После этого формировались обучающие и валидационные наборы данных. Процесс обучения продолжался до тех пор, пока точность модели на валидационных данных не достигала уровня 95-98 %. Полученные маски на тестовых изображениях подвергались процедуре размытия и пороговой обработки для устранения ложноположительных срабатываний на уровне отдельных пикселей [11].

Заключение

Применение нейросетевого регулятора и алгоритмов машинного обучения позволило автоматизировать обработку данных, а использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) помогло решить задачу обследования труднодоступных зон зданий и сооружений, включая те, где дефекты и повреждения слабо заметны. Обучение на искусственно созданных данных существенно сократило затраты на сбор реальных данных.

Список используемых источников

1. Конарев Д. И., Гуламов А. А. Повышение точности предварительно обученных нейронных сетей путем тонкой настройки // Материалы конференции Информационные технологии в управлении, 2020. С. 209–212. URL: itc.etu.ru/assets/files/itc-2020/papers/209.pdf (дата обращеия 21.02.2025).

2. Горбацевич В. С., Князь В. А., Мельниченко М. А., Степаньянц Д. Г. Методы глубокого обучения для автоматического построения трехмерных моделей по аэрофотоснимкам // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2019. № 2. С. 23–29. URL: elibrary.ru/item.aspid=3713471 (дата обращеия 21.02.2025).

3. Моисеева Е. Д. Аугментация изображений // Российская наука: Тенденции и возможности, 2020. С. 129–132. URL: elibrary.ru/item.aspid=42794332 (дата обращеия 21.02.2025).

4. Применение гражданских беспилотных воздушных судов с искусственным интеллектом в арктической зоне Российской Федерации: Аналитический обзор / А. В. Федотовских // Российский союз промышленников и предпринимателей, 2021. URL: http://www.rspp-arctic.ru/userfiles/docs/UAV_AI_Arctic_2021_RUIE.pdf (дата обращения 09.04.2021).

5. Коротеев М. В. Обзор некоторых современных тенденций в технологии машинного обучения. // E-Management. 2018. №1. С. 26-35. URL: doi.org/10.26425/2658-3445-2018-1-26-35 (дата обращеия 21.02.2025).

6. Пчелинцев С. Ю., Ковалева О. А., Суслин А. А. Использование синтетических данных для обучения нейронных сетей. Наука. Технология. Производство – 2021: материалы Всерос. науч.-техн. конф., Салават, 19–23 апреля 2021 г., Уфа, 2021. С. 8–10.

7. Пешкова Г. Ю., Плотников Г. А. Взаимодействие автономных беспилотных воздушных судов с использованием технологий искусственного интеллекта // Вестник Алтайской академии экономики и права, 2022. № 8-2. С. 285–289.

8. Павловский В. Е., Савицкий А. В. Исследование обратной задачи для вычисления управляющих воздействий для квадрокоптера. // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017. № 17. 20 с.

9. Парасич А. В., Парасич В. А., Парасич И. В. Формирование обучающей выборки в задачах машинного обучения. Обзор. Информационно-управляющие системы, 2021, № 4, с. 61–70. DOI:10.31799/16848853-2021-4-61-70.

10. Интеллектуальная система генерирования изображений,предназначенных для обучения нейросетевых моделей распознавания визуальных образов, С. Ю. Пчелинцев, О. А. Ковалева, С. В. Ковалев. № 2021666314; заявл. 20.10.21; опубл. 20.10.21, Бюл. № 10.

11. Беляева О. В., Перминов А. И., Козлов И. С. Использование синтетических данных для тонкой настройки моделей сегментации документов. Тр.ИСП РАН, 2020, т. 32, № 4, с. 189–202. DOI:10.15514/ISPRAS-2020-32(4)-14.

IMPLEMENTATION OF A NEURAL NETWORK CONTROLLER IN THE MONITORING SUBSYSTEM FOR DETECTING DEFECTS OF OBJECT SURFACES USING A QUADROCOPTER

Krylov A., Kornyushkin D.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper discusses the design and implementation of a neural network controller in a monitoring subsystem for defect detection of object surfaces using a quadrocopter. Research results are presented to improve the accuracy and efficiency of defect detection on various surfaces. The main focus is on the design and training of a neural network model capable of processing video streams from a quadrocopter camera and identifying defects in real time. The design and testing stages of the developed system are described in detail, and its functional performance is analysed. The results of the study demonstrate high accuracy and reliability of the proposed approach, which confirms its prospects for practical application in various industries.

***Key words**: Neural network control method, unmanned aerial vehicle, Canny method, synthetic data, prediction, defect detection*

УДК 621.396.67
ГРНТИ 47.45.29

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОКАНАЛОВ НА БАЗЕ СИСТЕМ СВЯЗИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

А. Н. Ликонцев, А. В. Сертаков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье анализируются методы и модели организации радиоканалов в миллиметровом диапазоне, применяемые в современных телекоммуникационных системах. Рассмотрены преимущества и ограничения использования радиоканалов в миллиметровом диапазоне, включая высокую скорость передачи данных и значительные потери сигнала. В качестве перспектив практического применения работе анализируются такие технологии как метод пространственного кодирования сигнала, фазированные антенные решетки, гибридные аналого-цифровые методы формирования диаграмм направленности и оптоэлектронные методы генерации сигналов. В ходе работы было сделано сравнение моделей расчета энергетического бюджета радиоканалов, проведен анализ полученной аналитики, а также изучена их применимость в разнообразных условиях. Также исследованы перспективы гетерогенных сетей и стратосферных систем связи. Полученные в исследовании результаты могут быть использованы для дальнейших исследований, направленных на снижение аппаратных ограничений, улучшение методов управления направленностью антенн и оптимизацию характеристик оптоэлектронных компонентов.

миллиметровый диапазон, радиоканалы, MIMO, фазированные антенные решетки, оптоэлектронные методы, энергетический бюджет, гетерогенные сети, стратосферные системы связи

Введение

Развитие сетей пятого поколения (5G) и необходимость обеспечения связью удаленных регионов актуализируют исследования в области миллиметрового диапазона, также называемого millimeter range (MMR). Несмотря на высокий потенциал MMR для достижения скоростей передачи данных до десятков Гбит/с, его внедрение ограничивается значительным затуханием сигнала, зависимостью от прямой видимости и чувствительностью к атмосферным условиям. Цель работы – анализ возможностей MMR для организации каналов связи на расстояниях свыше 20 км и разработка рекомендаций по преодолению технических ограничений.

Особенности миллиметрового диапазона

MMR (30–300 ГГц) привлекателен благодаря широкой полосе пропускания, обеспечивающей высокую скорость передачи данных, и наличию нелицензируемых поддиапазонов (например, 57–66 ГГц), что упрощает развертывание сетей [1]. Однако распространение сигнала в MMR сопряжено с затуханием, вызванным поглощением молекулами кислорода и водяного пара, а также рассеянием в дождевых осадках. Например, на частоте 60 ГГц затухание достигает 15 дБ/км из-за резонансного поглощения кислородом [2]. Дополнительным ограничением является требование прямой видимости (LoS), что критично для северных регионов с сложным рельефом.

На дальность связи в MMR влияют атмосферные эффекты, включая поглощение газами (с пиками на частотах 23 ГГц и 60 ГГц для кислорода O_2 и 183 ГГц для водяного пара H_2O) и дождевое затухание, которое рассчитывается по модели МСЭ-R P.838-3 с использованием соответствующей формулы:

$$\gamma = k \cdot R^{\alpha},$$

где R – интенсивность осадков, k, α – коэффициенты, зависящие от частоты [3].

Оптимальные «окна прозрачности» для MMR: 30–50 ГГц, 70–110 ГГц, 130–170 ГГц [4].

Технологии компенсации потерь

Современные технологии беспроводной связи, такие как пространственное мультиплексирование, также называемые multiple input multiple output (MIMO), фазированные антенные решетки (ФАР) и квазиоптические системы, играют ключевую роль в повышении пропускной способности и эффективности систем миллиметрового диапазона (MMR), открывая новые возможности для высокоскоростной передачи данных.

Пространственное мультиплексирование (MIMO) повышает пропускную способность за счет разнесения каналов. В MMR эффективность MIMO возрастает при использовании узконаправленных антенн с шириной луча менее 5° [5].

Фазированные антенные решетки (ФАР) обеспечивают управление диаграммой направленности и адаптацию к изменению условий. Усиление антенной решетки $G_{ФАР}$ зависит от числа элементов N, усиления одного элемента $G_{элемента}$ и угла сканирования θ. Формула имеет вид:

$$G_{\text{ФАР}} = N \cdot G_{\text{элемента}} \cdot cos(\theta),$$

где N – количество антенных элементов, $G_{\text{элемента}}$ – коэффициент усиления одного элемента (в линейных единицах), θ – угол сканирования луча относительно нормали к плоскости решетки.

Квазиоптические системы представляют собой класс устройств, работающих в миллиметровом (30-300 ГГц) и субмиллиметровом диапазонах, где радиоволны проявляют свойства, близкие к оптическому излучению [6]. Эти системы используют принципы геометрической оптики, включая фокусировку, отражение и преломление, для эффективного управления электромагнитными волнами. Их основная задача заключается в формировании узконаправленных пучков с шириной до 1°, что позволяет минимизировать энергетические потери благодаря снижению расходимости луча и уменьшению влияния атмосферных помех.

Важным компонентом квазиоптических систем являются линзованные антенны, среди которых можно выделить плосковыпуклые линзы как наиболее простой вариант с плоской и сферической поверхностями, а также линзы Люнеберга – сферические структуры с градиентной диэлектрической проницаемостью, обеспечивающие фокусировку независимо от угла падения. Эти антенны преобразуют сферический волновой фронт от источника, такого как рупорная антенна, в коллимированный пучок.

Квазиоптические системы находят широкое применение в различных областях: в сетях 5G линзовые антенны с узкой диаграммой направленности около 1° используются для организации магистральных каналов между базовыми станциями [7]; в радиоастрономии зеркальные системы, такие как антенны ALMA (англ. Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), обеспечивают разрешение до 0,001″ на частоте 900 ГГц; в военных технологиях квазиоптические зеркала применяются в РЛС с синтезированной апертурой. Благодаря способности формировать сверхнаправленные пучки и минимизировать потери, квазиоптические системы играют ключевую роль в реализации высокоскоростной передачи данных, особенно в условиях ограниченного энергетического бюджета.

Расчет эффективности методов компенсации потерь на частоте 90 ГГц

Для анализа выбраны три метода компенсации:

1. MIMO (Multiple-Input Multiple Output).
2. Фазированные антенные решетки (ФАР).

3. Квазиоптические системы.

Исходные параметры:

– Частота: f = 90ГГц.
– Расстояние: d = 20км.
– Интенсивность дождя: R = 25мм/ч.
– Влажность: 50 %, температура: 20°C.

Расчет общих потерь без компенсации

Потери в свободном пространстве (F_{SL}):

$$L_{FS} = 20log_{10}(\frac{4\pi df}{c}) = 20log_{10}(\frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 90 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8}) \approx 142{,}1\text{дБ},$$

Атмосферное затухание:

– Поглощение кислородом (O_2): 0.3дБ/км × 20км = 6дБ.
– Поглощение водяным паром (H_2O): 0.2дБ/км × 20км = 4дБ.
– Дождевое затухание (Модель ITU-R P.838-3):

$$\gamma = k \cdot R^{\alpha},$$

Для f = 90ГГц частотно-зависимые коэффициенты имеют значения k = 0,08, α = 1,02. Тогда:

$$\gamma = 0{,}08 \cdot 251{,}02 \approx 2{,}2\text{дБ/км},$$
$$2.2\ \text{дБ/км} \cdot 20 = 44\text{дБ},$$
$$\gamma = 0.08 \cdot 251.02 \approx 2.2\text{дБ/км} \Rightarrow 2.2\text{дБ/км} \cdot 20\text{км} = 44\text{дБ},$$

Таким образом суммарные атмосферные потери составят:

$$6дБ + 4дБ + 44дБ = 54дБ$$

Общие потери:

$$L_{total} = L_{FS} + L_{\text{атм}} = 142{,}1\text{дБ} + 54\text{дБ} = 196{,}1\text{дБ}.$$

Расчет компенсации потерь

Расчет компенсации для MIMO (4x4):

– Улучшение SNR за счет пространственного разнесения:

$$\Delta SNR = 10log_{10}(N_{\text{каналов}}) = 10log_{10}(4) \approx 6\text{дБ}$$

– Эффективные потери:

$$L_{MIMO} = L_{total} - \Delta SNR = 196{,}1\text{дБ} - 6\text{дБ} = 190{,}1\text{дБ}$$

В случае с ФАР (расчет для 100 элементов):

– Коэффициент усиления антенны:

$$G_{ФАР}=10log_{10}(N)+G_{элемента}=10log_{10}(100)+20дБи=20дБи+20дБи=40дБи$$

– Компенсация потерь:

$$L_{\text{ФАР}} = L_{total} - G_{\text{ФАР}} = 196{,}1\text{дБ} - 40\text{дБ} = 156.1\text{дБ}.$$

Квазиоптические системы:

– Снижение потерь на 20 % (по сравнению с ФАР):

$$L_{\text{квазиопт}} = 0.8 \cdot L_{\text{ФАР}} = 0{,}8 \cdot 156{,}1 = 124{,}9\text{дБ},$$

– Дополнительное усиление за счет узкого луча (1°):

$$G_{\text{квазиопт}} = 10log_{10}(\frac{180}{\theta})^2 = 10log_{10}(180)^2 \approx 45\text{дБи},$$

– Итоговые потери:

$$L_{\text{квазиопт}} = 196{,}1 - 45 = 151{,}1\text{дБ}.$$

ТАБЛИЦА 1. Значения расчета эффективности методов компенсации потерь на частоте 90 ГГц

Параметр	Без компенсации	MIMO (4x4)	ФАР (100 элементов)	Квазиоптика
Суммарные потери, дБ	196.1	190.1	156.1	124.9
Усиление антенны, дБи	0	6	40	45
Требуемая мощность, Вт	100	63	0.6	0.3
Сложность реализации	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
Устойчивость к дождю	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая

Выводы

Проанализировав результаты работы, а также значения расчетов, приведенных в таблице 1, можно сделать следующие выводы. Технология MIMO демонстрирует умеренное снижение суммарных потерь (на 6 дБ) за счет пространственного разнесения каналов. Однако ее эффективность ограничена необходимостью синхронизации множества антенн и сложно-

стью алгоритмов обработки сигналов, таких как декодирование многопользовательских интерференций. Для частоты 90 ГГц, где фазовый шум усиливается, реализация MIMO требует высокоточных схем компенсации искажений, что увеличивает энергопотребление и стоимость системы.

Фазированные антенные решетки (ФАР) обеспечивают значительное усиление сигнала (до 40 дБ) за счет формирования узконаправленных лучей и адаптации к изменяющимся условиям распространения. Однако их эффективность напрямую зависит от числа элементов (в примере – 100), что увеличивает габариты, стоимость и энергозатраты системы. Кроме того, при сканировании луча за пределами угла ±60° усиление снижается из-за роста боковых лепестков. Для северных регионов с экстремальными температурами требуется разработка термостабильных ФАР, устойчивых к деформациям.

Квазиоптические системы демонстрируют наименьшие потери (124.9 дБ) благодаря формированию сверхузких лучей (шириной 1–3°), минимизирующих рассеяние и атмосферное поглощение. Однако их внедрение ограничено необходимостью использования специализированных компонентов, таких как линзы из диэлектриков с низкими потерями (например, полистирол) или зеркальные антенны с высокой точностью поверхности. Кроме того, квазиоптические системы требуют точной юстировки, что усложняет их эксплуатацию в условиях вибраций или ветровых нагрузок.

Оптимальное решение для связи на 90 ГГц в дождливых условиях – гибридная система ФАР + квазиоптика. Комбинация позволяет использовать ФАР для адаптивного управления лучом и компенсации блокировок (например, из-за подвижных объектов), применять квазиоптические элементы для снижения потерь в ключевых сегментах канала (например, магистральных линиях), достичь баланса между энергоэффективностью и стоимостью.

Список используемых источников

1. Минцифры РФ. Таблица распределения полос частот между радиослужбами Российской Федерации / Под общ. ред. О.Г. Духовницкого. М.: Россвязь, 2023. 120 с.Разд. 7.2.3.

2. Раппапорт Т. С., Сунь Ш., Мэйтис Р. Дж. Обзор технологий миллиметровых волн для сетей пятого поколения (5G) с акцентом на модели распространения сигнала // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2017. Т. 65. № 12. С. 6213–6230.

3. Международный союз электросвязи. Рекомендация МСЭ-R P.838-3 "Модель затухания из-за дождя для методов прогнозирования" // Официальные документы МСЭ. Женева: МСЭ, 2023. Разд. 1.2 , Таблица 1 (значения k и α для разных частот).

4. Жевакин С. А., Наумов А. П. Окна прозрачности миллиметрового диапазона для систем связи // Radioengineering, 2019. Т. 28, № 4. С. 715–723

5. Эндрюс Дж.Г., Буззи Р., Ван Л. [и др.] Каким будет стандарт 5G? // IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2014. Т. 32, № 6. С. 1065–1082. DOI: 10.1109/JSAC.2014.2328098.

6. Петров А. Н., Иванов В. К. Квазиоптические преобразователи миллиметрового диапазона с повышенной эффективностью // Радиотехника и электроника, 2020. Т. 65. № 3. С. 45–52. ISSN 0033-8494. – DOI: 10.31857/S0033849420030078.

7. Раппапорт Т. С., Скутерис Д., Бенидиксон М. Дж., Ю Дж., Родригес-Пачеко Р., Мэйтис Р. Дж. Беспроводная связь и приложения выше 100 ГГц: возможности и вызовы для 6G и перспективных технологий // IEEE Access, 2019. Т. 7. С. 78729–78757. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2921522.

METHODS AND MODELS FOR ORGANIZING RADIO CHANNELS BASED ON MILLIMETER-WAVE COMMUNICATION SYSTEMS

Likontsev A., Sertakov A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article examines methods and models for organizing radio channels in the millimeter-wave range, employed in modern telecommunication systems. The advantages and limitations of using millimeter-wave radio channels are discussed, including high data transfer rates and significant signal attenuation. As promising practical applications, the study analyzes technologies such as spatial signal coding, phased antenna arrays, hybrid analog-digital beamforming methods, and optoelectronic signal generation techniques. The work includes a comparison of radio channel link budget models, an analysis of the obtained data, and an assessment of their applicability in various conditions. Additionally, the prospects of heterogeneous networks and stratospheric communication systems are explored. The findings of this research can be applied in further studies aimed at mitigating hardware limitations, enhancing antenna beam steering methods, and optimizing the performance of optoelectronic components.

Key words: *millimeter-wave range, radio channels, MIMO, phased antenna arrays, optoelectronic methods, link budget, heterogeneous networks, stratospheric communication systems*

УДК 621.39
ГРНТИ 49.27.01

ОДНОНАПРАВЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ

М. З. Лящук, Н. И. Абрамова, П. В. Воробьев

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье дается классификация систем повышения достоверности и способов повышения достоверности, реализованных в однонаправленных системах. Обоснованы практические рекомендации о целесообразности применения однонаправленных систем и способов повышения достоверности в них, в зависимости от характера ошибок, возникающих в каналах связи.

повышение достоверности, система, способ, корректирующий код, повторение комбинаций, мажоритарная обработка.

Проблема повышения достоверности обусловлена несоответствием между требованиями, предъявляемыми при передаче дискретных сообщений, и качеством большинства реальных каналов, полученных при использовании современной каналообразующей аппаратуры. Решение проблемы повышения достоверности только путем совершенствования каналообразующей аппаратуры экономически нецелесообразно, а в ряде случаев и технически невозможно. В системах обмена данными повышение достоверности является одной из основных функций каналов передачи данных. Осуществляется оно при обмене пакетами данных между элементами сети передачи данных, а также при обмене сообщениями данных между отправителями и получателями данных (в том числе и ЭВМ).

Способы повышения достоверности, применяемые в современных и перспективных комплексах, основаны на использовании помехоустойчивых корректирующих кодов. Корректирующими кодами называются коды, позволяющие обнаруживать или исправлять ошибки в дискретных сообщениях, возникающие при передаче сообщений по каналам связи с помехами. Преимущественное распространение получили двоичные коды (передаваемые значения кодовых элементов 0 или 1), которые и будут рассмотрены в статье.

Обозначим произвольную n-элементную комбинацию, множество которых равно $N = 2^n$. Если некоторое множество $N_r < .N=2^n$, выбранное по некоторому правилу, то это множество, обозначаемое через V, будет корректирующим кодом (n,k)-кодом, где k-количество информационных символов в кодовой комбинации, n-k–количество избыточных (проверочных) символов. Комбинации множества V называют кодовыми или разрешенными, остальные – запрещенными. Применение корректирующих кодов при повышении достоверности связано с наличием кодирующего и декодирующего устройств для обнаружения и (или) исправления ошибок.

Произвольную комбинацию корректирующего кода длины n обозначим v_i . При передаче комбинации v_i возможны три исхода:

1) правильный прием комбинации, вероятность которого обозначим $P_{\text{пр}}$ (происходит при отсутствии ошибок);

2) стирание комбинации. Происходит при воздействии ошибок, превращающих разрешенную комбинацию v_i в запрещенную, обозначим $P_{ст}$;

3) прием комбинации с необнаруженными ошибками. Происходит при воздействии ошибок, превращающих разрешенную комбинацию v_i в другую также разрешенную v_j, обозначим через $P_{\text{ош}}$. Так как возможны только эти три события при декодировании с обнаружением ошибок, то $P_{\text{пр}}+P_{ст}+P_{\text{ош=}}=1$

Практическая реализация принципов помехоустойчивого кодирования должна обеспечить построение множества разрешенных комбинаций V таким образом, чтобы:

– минимизировать вероятность ошибочного приема;
– минимизировать сложность реализации кодирующих и декодирующих устройств.

Решение этих двух задач привело к созданию многочисленных разновидностей корректирующих кодов: блочных, непрерывных, групповых, циклических, матричных и др. [1].

Системы повышения достоверности делятся на однонаправленные системы (без обратной связи) и системы с обратной связью [2] (рис. 1).

Рис. 1. Классификация систем и способов повышения достоверности

Наиболее важным в однонаправленных системах (ОНС) является рассмотрение способов (алгоритмов) повышения достоверности на основе ввода избыточности на передаче и ее использования на приеме с целью уменьшения ошибок. В однонаправленных системах применяются алгоритмы повышения достоверности, не требующие при вводе избыточности в процессе передачи сообщений информации о состоянии канала связи. Поэтому эти системы для передачи сообщений в одном направлении используют канал (или каналы) связи только одного направления.

Системы повышения достоверности имеют различные виды решающих устройств, в которых по поступающим из канала связи комбинациям, принимается решение о выдаче комбинации получателю или о стирании комбинации, или выдача сигнала отметки ошибки в комбинации. В большинстве случаев для получателя информации прием сигнала стирания (отметки ошибки) вместо ошибочной комбинации является менее «вредным» событием, чем прием другой разрешенной ошибочной комбинации, происходящей из-за воздействия помех.

Однонаправленные системы определяются процедурами ввода избыточности, необходимой для повышения достоверности при формировании сообщения на передаче, а также процедурами обработки сообщений на приеме, обеспечивающими за счет использования избыточности уменьшение числа ошибок в сообщении. Процедуры в пунктах приема и передачи взаимно согласованы и обеспечивают в совокупности заданную степень повышения достоверности.

Большинство используемых в настоящее время ОНС, в зависимости от процедур повышения достоверности можно разделить на следующие типы:

– системы с применением корректирующих кодов;
– системы с многократной передачей блоков битов при использовании их мажоритарной обработки;
– за счет передачи кодовых комбинаций корректирующего кода по параллельным каналам;
– комбинированные системы.

ОНС, в которых повышение достоверности достигается за счет применения корректирующих кодов, имеют простую структуру, состоящую из кодирующего и декодирующего устройств. Причем могут применяться как блоковые, так и непрерывные коды. Эффективность таких ОНС полностью определяется эффективностью корректирующего кода, которая возрастает при увеличении длины кодовой комбинации *n*. При этом одновременно возрастает сложность построения декодирующего устройства, что затрудняет практическое применение длинных кодов из-за необходимости исправлять ошибки большой кратности или пачки ошибок большой длины. Перспективным считается применение каскадных кодов, ступенчатая структура которых позволяет разбить процедуру декодирования на два этапа, и тем самым ее упростить.

Для систем с многократной передачей комбинаций сообщения последовательность переданных элементов комбинации может быть представлена в виде матрицы:

$$\begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & \cdots & a_{0,n-1} \\ a_{10} & a_{11} & \cdots & a_{1,n-1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{\mu-1,0} & a_{\mu-1,1} & \cdots & a_{\mu-1,n-1} \end{bmatrix},$$

в которой столбцы состоят из одинаковых при передаче элементов, а строки являются элементами комбинаций простого или корректирующего (*n*,*k*)-кода.

При этом в системах с повторениями передача производится поочередно, сначала элементы первой строки, затем второй и т.д., а в системах с параллельными каналами одновременно передаются по различным каналам элементы первого столбца, затем второго и т.д.

Так как столбцы матрицы являются комбинациями тривиального корректирующего кода (μ,1) с минимальным расстоянием dmin=μ, то при нечетных значениях $\mu \geq 3$ возможно исправление ошибок кратности t=(μ-1)/2

Другими словами, используя мажоритарную обработку элементов столбцов, можно получить элементы строки (n-элементной комбинации), устраняя этим способом часть ошибок, возникших при передаче по каналу или каналам связи. Наличие параллельных каналов или временного разноса обеспечивает малую зависимость между ошибками в элементах столбца и, следовательно, высокую эффективность кода (μ,1).

В качестве строк матрицы могут использоваться комбинации простого или корректирующего (n,k)-кода. В первом случае повышение достоверности достигается процедурой мажоритарной обработки комбинаций, во втором применяется корректирующий (n,k)-код с достаточно большим количеством избыточных элементов (n-k = 10÷20), позволяющий с высокой вероятностью установить факт наличия или отсутствия ошибок в комбинации (n,k)-кода.

При этом первоначально проверяются строки, состоящие из элементов, принятых из канала связи. Если, хотя бы одна строка удовлетворяет условиям проверки, то она выделяется и выдается на выход ОНС. Соответствующая процедура обработки заканчивается. Если во всех строках будут обнаружены ошибки, то из различных сочетаний трех строк способом мажоритарной обработки образуются новые элементы, которые вновь проверяются. Если при этом будет выявлена правильная комбинация при анализе трех строк, то она выдается на выход ОНС, в противном случае анализируется сочетание из пяти строк и т.д. до исчерпания всех повторяемых на передаче строк. После чего обеспечивается срабатывание аварийной сигнализации.

В ОНС с комбинированным способом использования избыточности могут применяться одновременно повторения и параллельная передача комбинаций по различным каналам с аналогичной процедурой обработки на приеме. Кроме того, возможно применение более сложных корректирующих кодов в режимах исправления ошибок для столбцов матрицы, а также обнаружения ошибок для ее строк, соответственно.

Эффективность ОНС достаточно низка, что объясняется отсутствием информации о состоянии канала связи. Поэтому при определении необходимой избыточности, в зависимости от степени важности передаваемых сообщений, исходят из средних или наихудших условий передачи. Это приводит к тому, что избыточность оказывается излишней в моменты хорошего состояния канала связи и недостаточной при ухудшении его состояния.

Следовательно, с помощью ОНС оказывается затруднительным реализовать существенное повышение достоверности при эффективном использовании избыточности. Например, для систем с многократной передачей относительная скорость передачи $R=k/n\mu$ достаточно низка, так как для большинства реальных каналов заданные требования по достоверности можно обеспечить лишь при $\mu = 10 \div 100$ и более. В связи с этим, применение ОНС целесообразно лишь в случаях, когда использование обратного канала полностью исключено по каким-либо причинам, например при циркулярной передаче сообщений большому числу корреспондентов, для радиосвязи с подводными лодками и др.

При отсутствии обратной связи можно использовать многократное повторение комбинаций или коды с исправлением ошибок. При взаимонезависимых ошибках в канале связи и, когда вероятность ошибок большой кратности мала, целесообразно использовать коды с исправлением ошибок. Если же ошибки в канале группируются (возникают пачки ошибок), то кодирующие и декодирующие устройства получаются сложными, так как трудно предусмотреть возникшую длительность пачки ошибок, которые придется исправлять. В таких условиях лучше применять ОНС с многократным повторением, которые менее чувствительны к статистике возникновения ошибок и реализуются с меньшей сложностью кодирующих и декодирующих устройств.

Список используемых источников

1. Мизин И. А. и др. Передача информации в сетях с коммутацией сообщений., М., «Связь». 1977., 328 с., с. 265-268.

2. Гойхман Э. Ш., Лосев Ю. И. Передача информации в АСУ. М.: «Связь», 1976. 280 с., с. 139-145.

UNIDIRECTIONAL RELIABILITY ENHANCEMENT SYSTEMS

Lyashuk M., Abramova N., Vorobyev P.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The article provides a classification of reliability enhancement systems and reliability enhancement methods implemented in unidirectional systems. Practical recommendations on the expediency of using unidirectional systems and ways to increase reliability in them, depending on the nature of errors occurring in communication channels, are substantiated.

Key words: *reliability enhancement, system, method, correction code, repetition of combinations, majority processing*

УДК 621.396
ГРНТИ 49.27.01

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ СРОЧНОСТИ В СЕТЯХ КОММУТАЦИИ СООБЩЕНИЙ

М. З. Лящук, Н. И. Абрамова, П.В. Воробьев

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье рассматриваются категорийные подмножества сообщений, передаваемые в сетях коммутации сообщений. Проиллюстрированы и проанализированы варианты передачи простых, важных и особо важных сообщений. Оценена вероятность своевременной доставки этих вариантов.

сообщение, категория срочности, приоритет, маршрут передачи, вероятность своевременной доставки, интенсивность потока

Информация, передаваемая в системах управления, неоднородна по своему содержанию и может быть разбита по категориям. Каждая из этих категорий характеризуется некоторым уровнем требований к процессу передачи сведений, входящих в эту категорию. Категории могут различаться по важности входящих в них сведений и по их срочности. В первом случае они называются категориями важности и к процессу передачи этих категорий предъявляются различные требования по надежности доставки.

Во втором случае различают категории срочности, по отношению к которым предъявляются требования по допустимой задержке передачи или вероятности своевременной доставки [1].

Множество сообщений, передаваемых в сетях передачи данных (СПД), можно разделить на некоторые подмножества – категории срочности, к которым со стороны системы обслуживания предъявляются идентичные требования по своевременной доставке. При этом применяется обслуживание сообщений по категориям срочности в соответствии с их приоритетом – номером в очереди [2]. Приоритеты назначаются для того, чтобы сократить время передачи сообщений по сети высших категорий срочности. Поэтому они назначаются в соответствии с категориями срочности сообщений, среди которых можно выделить по срочности передачи: простые, важные и особо важные сообщения. Варианты передачи этих сообщений и маршруты передачи представлены на рисунке 1, на котором узлы сети обозначены – О.

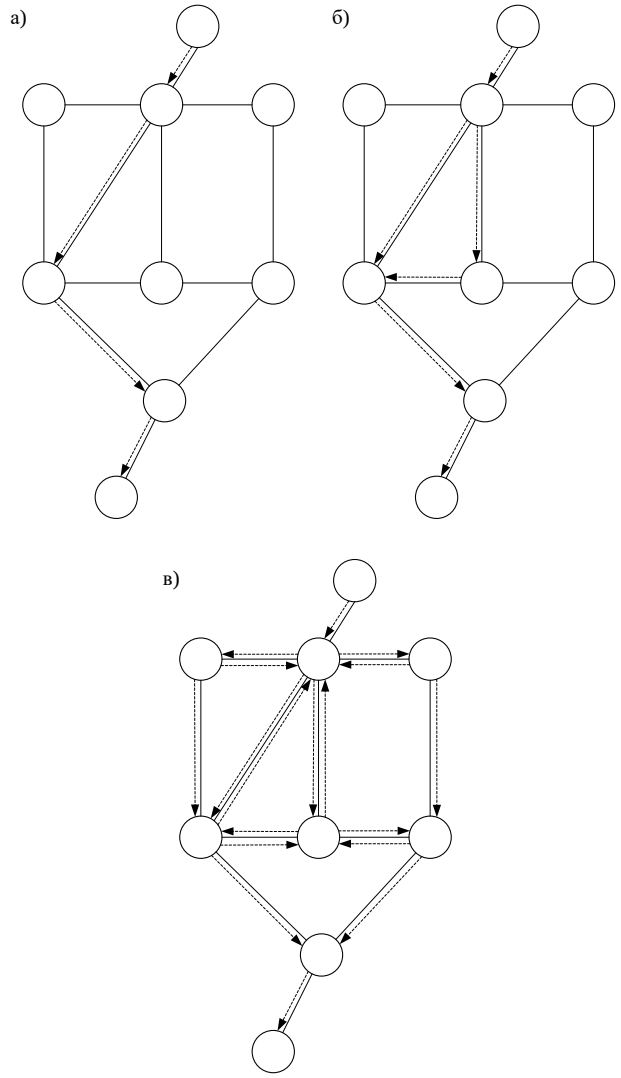


Рис. 1. Маршруты передачи сообщений

В большинстве случаев простые сообщения, предназначенные одному получателю, передаются в единственном экземпляре по определенному для них маршруту, а требования по вероятности своевременной доставки обеспечиваются путем присвоения им соответствующего приоритета (рис. 1а).

Для важных сообщений применяется метод передачи, отличный от метода передачи простых сообщений (рис. 1б). При этом сообщение от узла-отправителя передается в нескольких экземплярах по назначенным маршрутам, каждое из которых движется независимо и достигает узла-получателя по своему маршруту (обычно кратчайшему). На узле-получателе все экземпляры, кроме того, который пришел первым, стираются. Первый экземпляр выдается узлу – получателю, а затем адресату.

Если сообщение передается по S_i-му маршруту, то вероятность своевременной доставки его определяется следующим образом:

$$V = 1 - \prod_{I=1}^{s}(1 - V_i),$$

где V_i – вероятность своевременной доставки экземпляра сообщения, переданного по i-му маршруту, S – количество маршрутов.

Следует учитывать, что при использовании этого метода передачи для важных сообщений, интенсивность поступления в сеть которых через узел y_i равна λ_I, в сети возникнут дополнительные потоки с суммарной интенсивностью $(k-1)\sum_{i=1}^{M}\lambda_i$, где M – количество линий связи на маршрутах доведения важного сообщения до адресата, k – количество экземпляров важного сообщения.

Для более редких, особо важных сообщений, может быть использован следующий вариант передачи (рис. 1в). Из узла-отправителя в каждую инцидентную узлу линию связи отправляется по одному экземпляру сообщения. На каждом промежуточном узле производится селекция приходящих экземпляров. Экземпляр, пришедший первым, размножается и опять передается во все исходящие линии связи. Если сообщение поступает в узел вторично, то оно стирается. На узле-получателе первый поступивший экземпляр передается адресату. Для повышения достоверности на промежуточном и оконечном узлах связи может осуществляться сравнение экземпляров.

Данный вариант передачи особо важных сообщений, во-первых, не требует регулирования потоков сообщений, а следовательно, и наличия информации о состоянии сети и, во-вторых, использует все множество возможных маршрутов. Он позволяет реализовать максимально возможную для сети (потенциальную) вероятность своевременной доставки.

Пусть, например, имеется четыре маршрута, которые обеспечивают вероятности своевременной доставки: $V_1 = 0{,}95$; $V_2 = 0{,}9$; $V_3 = 0{,}8$; $V_4 = 0{,}7$. Тогда вероятность своевременной доставки сообщения особой важности по приведенной выше формуле равна $V = 0.9993$.

Рассмотренный вариант передачи, представленный на рисунке 1в, пригоден только для достаточно редких сообщений, так как в противном случае в сети возникнут значительные дополнительные нагрузки в зависимости от числа исходящих линий M от промежуточных узлов сети и количества k. переданных экземпляров сообщения от узла-отправителя.

Список используемых источников

1. Мизин И. А. и др. Передача информации в сетях с коммутацией сообщений. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Связь», 1977, 328 с., с. 43–49.
2. Пронин Е. Г., Могуева О. В. Проектирование бортовых систем обмена информации. М.: Радио и связь, 1989. 240 с., с. 12–15.

UNIDIRECTIONAL RELIABILITY ENHANCEMENT SYSTEMS

Abramova N., Lyashuk M., Vorobyev P.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The article provides a classification of reliability enhancement systems and reliability enhancement methods implemented in unidirectional systems. Practical recommendations on the expediency of using unidirectional systems and ways to increase reliability in them, depending on the nature of errors occurring in communication channels, are substantiated.

Key words: *reliability enhancement, system, method, correction code, repetition of combinations, majority processing*

УДК 621.394.23
ГРНТИ 49.27.01

МЕТОДЫ И СПОСОБЫ АДРЕСОВАНИЯ СООБЩЕНИЙ

М. З. Лящук, Н. И. Абрамова, Д. Ф. Ткачев

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье рассматриваются методы и способы адресования одноадресных и многоадресных сообщений в сетях передачи сообщений с определением объема, необходимого для хранения адресов на узлах коммутации сообщений.

адресование, метод, способ, сообщение, объем памяти, одноадресное сообщение, многоадресное сообщение, заголовок сообщения.

В системах передачи сообщений идентификация элементов осуществляется с помощью искусственно присвоенных им условных наименований, называемых адресами. При этом сам элемент называется адресатом, а правила, в соответствии с которыми назначаются адреса, определяются способом адресования. Под термином “способ адресования” понимаются правила образования множества адресов и установления эквивалентности между элементами этого множества и множества информационных имен объектов адресования. Известны основные способы адресования: сквозной, зоновый, ступенчатый, иерархический и др. К способу адресования предъявляются следующие основные требования:

– однозначность идентификации элементов сети (уникальность адреса);
– инвариантность к изменению физической структуры сети (избыточность адресного множества);
– сопрягаемость с другими способами адресования (через ретрансляцию адресов);
– обеспечение возможности оптимизации маршрутов;
– удобство использования адресов для абонентов сети;
– возможность многоадресной рассылки;
– простота решения задачи назначения, смены и корректировки адресов.

Адрес, присваиваемый элементу сети необходим, прежде всего, для автоматической доставки сообщения удаленному абоненту путем выбора соответствующего маршрута доставки. Кроме того, принятое сообщение должно быть выведено на вполне определенное устройство внутри объекта. Поэтому обычно различают две части полного адреса: сетевой адрес и внутренний адрес. Первый из них используется для доставки по сети, а второй для организации процесса вывода информации получателю. Основными доводами в пользу такого подхода явились широкий диапазон назначения адресов для сетей и устройств в них, а также возможность реализации более эффективной маршрутизации.

Однозначность идентификации адреса достигается посредством присвоения каждому объекту адресования уникального (не повторяющегося в сети) условного номера. При этом допускается, что одному объекту может быть присвоено несколько различных адресов [1]. Следовательно, мощность множества адресов должна быть не меньше, чем число объектов адресования.

Отличие метода от способа заключается в теоретическом определении и в масштабе применения адресования: в случае коммутации сообщений (обычно при передаче данных) и каналов (обычно в телефонии) – это метод, а при практическом применении, например, только в коммутации сообщений – это способ. Различают (наиболее распространены) методы и способы адресования одноадресных и многоадресных сообщений (рис. 1).

В большинстве случаев адреса имеют иерархическую фиксированную структуру, что позволяет на каждом уровне иерархии сети (в сетевых коммутаторах) обрабатывать не весь адрес, а только его часть [2]. При этом сложность задачи адресования усугубляется тем обстоятельством, что при назначении адресов необходимо учитывать ограничения, накладываемые используемыми структурами маршрутно-адресных таблиц. В простейшем случае, любая строка таблицы маршрутов может соответствовать единственному адресу. Такой способ назначения адресов известен как способ сквозной нумерации абонентов, применяемый для одноадресных сообщений.

Рассмотрим методы и способы адресования одноадресных и многоадресных сообщений, классификация которых приведена на рисунке 1.

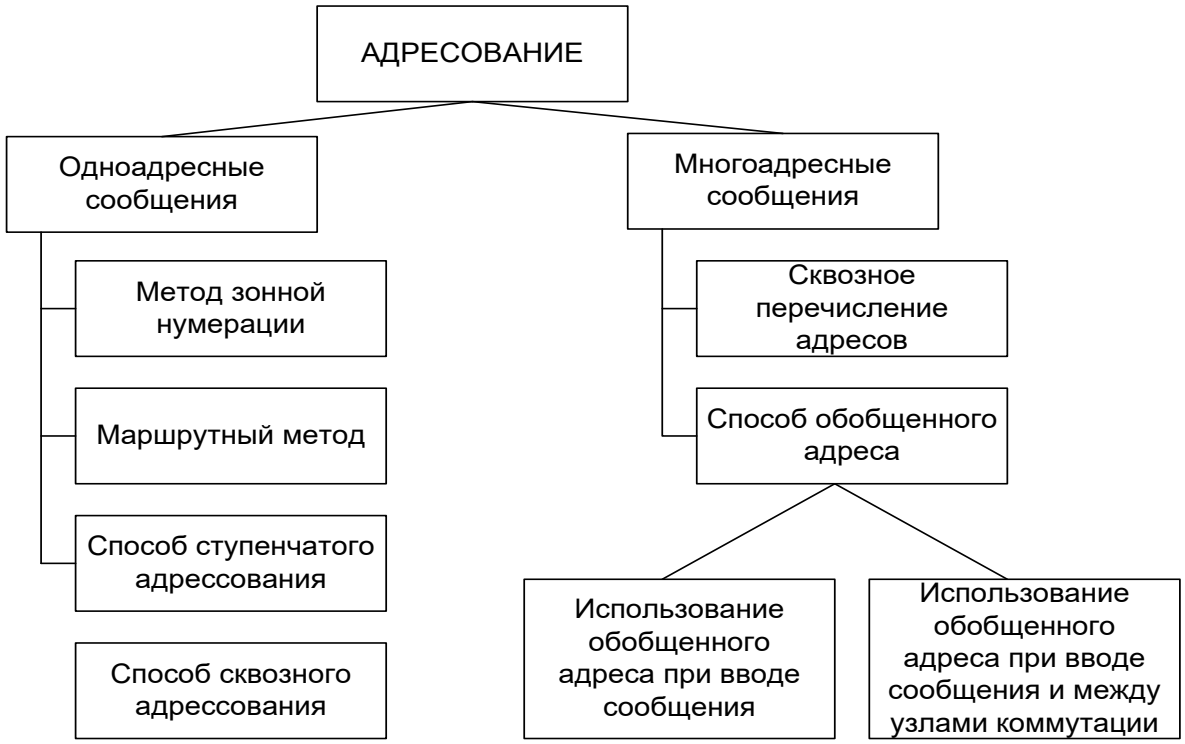


Рис. 1. Методы и способы адресования сообщений

В памяти узла u_i, находящегося в k-ой зоне, при данной нумерации должно храниться число адресов:

$$B(i,k) = b(i,k) + M(k) + b,,$$

где $b(i,k)$ – число абонентов, подключенных к i – му узлу k – ой зоны,

$M\{k)$ – число узлов в k – ой зоне,

k – число зон в сети.

Данное соотношение позволяет оценить требуемый на узлах коммутации объем памяти для хранения адресов.

Метод зоновой нумерации предполагает разбиение всего множества абонентов, обслуживаемых сетью, на подмножества (зоны), так как в сетях с очень большим числом адресатов использование сквозного способа адресования приведет к увеличению емкости маршрутно-адресных таблиц до неприемлемо большого объема. Исходя из этого, большинство разработок ориентировано на применение более сложного способа адресования, известного как метод зоновой нумерации абонентов. При этом способе адрес абонента включает в себя номер зоны, номер узла в зоне и номер абонента на данном узле. Все эти номера размещаются в служебной части (заголовке) сообщения при его передаче.

В памяти узла u_i , находящегося в k-ой зоне, при данной нумерации должно храниться число адресов:

$$B(i,k) = b(i,k) + M(k) + b, ,$$

где $b(i,k)$ – число абонентов, подключенных к i – му узлу k – ой зоны,

$M\{k)$ – число узлов в k – ой зоне,

k – число зон в сети.

Данное соотношение позволяет оценить требуемый на узлах коммутации объем памяти для хранения списка адресов.

Маршрутный метод адресования требует от абонента знания структуры сети и привязки к ней абонентов. Выбор конкретного маршрута передачи сообщения возлагается на абонента-отправителя сообщения, для чего у него должна храниться вся структура привязки абонентов к узлам коммутации. При этом предполагается, что в адресе перечисляются все транзитные узлы коммутации на маршруте доставки сообщения до узла-адресата. Число адресов, которые должны храниться на узле u_i , равно: $B(i) = b(i) + N_i$, где N_i–число узлов, непосредственно подключенных к узлу u_i.

Способ ступенчатого адресования может быть использован при назначении адресов в соответствующих иерархических системах управления, в которых сообщения передаются от вышестоящей инстанции к нижестоящей (по подчиненности). т.е. доводятся в соответствии со структурой подчинения. При этом на каждом узле достаточно иметь количество адресов, соответствующих количеству подчиненных объектов.

Если такая сеть имеет l звеньев объектов управления и объекты i – го звена подсоединены к Ni узлам, то на узлах первого звена должно содержаться

$$B(j,1) - \sum_{i=2}^{l} N_i$$

адресов;

на узлах второго звена управления

$$B(j,2) - \sum_{i=2}^{l} N_i,$$

на узлах s – го звена управления

$$B(j,S) - \sum_{i=s+1}^{l} N_i.$$

Кроме того, узлы *s*-го звена управлении в зависимости от дисциплины, установленной в звене управления, могут содержать 1 или *s*-1 адрес узлов связи более высоких звеньев. Поэтому для последнего типа сетей характерным является различие в объеме требуемой для хранения адресов памяти на узлах различных звеньев управления. При этом на узлах высших звеньев требуются значительно большие объемы памяти, чем на узлах низших звеньев управления. Структура адресной части заголовка при ступенчатом способе адресования аналогична структуре, используемой в маршрутном методе, и включает последовательность номеров узлов по звеньям в порядке их подчиненности. Ступенчатый способ адресования весьма удобен для сетей связи, организуемых в интересах иерархических систем управления, и поэтому широко распространен.

Сквозной способ адресования использует сквозную нумерацию узлов по степени их удаленности от узла-отправителя сообщений. При этом в памяти на каждом узле должно храниться адресов:

$$B(i) = \sum_{j=1}^{M} b(j),$$

т.е. адреса всего множества абонентов сети *M*.

В заголовке сообщения указывается только один номер узла-получателя сообщения и номер адресата на данном узле. В случае, когда адресат принадлежит узлу-отправителю сообщения, указывается только номер адресата на данном узле. Задача поиска адресата по сети (узла, к которому он подключен) и выбора маршрута решается на узлах сети процедурой маршрутизации.

Данный способ значительно упрощает процедуру связи для потребителей сети, но требует большого объема памяти для хранения адресов всего множества *M* пользователей сети на каждом узле. Кроме того, при подключении мобильного пользователя к различным узлам сети, он должен разослать сообщения всем пользователям о номере узла, к которому подключен, что увеличивает загрузку сети служебным трафиком. Данный способ сквозного адресования, ввиду значительной сложности процедуры маршрутизации и больших объемов памяти, требуемых на узлах коммутации, не нашел широкого распространения.

Рассмотрим способы адресования многоадресных сообщений.

Сквозное перечисление адресатов в служебной части заголовка сообщения. Данный способ отличается простотой реализации, но при большом количестве адресатов приводит к значительному увеличению служебной части многоадресных и, особенно, циркулярных сообщений. В случае, когда на исходящем узле многоадресное сообщение, поступающее от пользователя сети, преобразуется в одноадресные сообщения, передача многоадресного сообщения сводится к передаче одноадресных сообщений. При этом на исходящем узле поступившее сообщение размножается по числу абонентов-получателей многоадресного сообщения. Исходя из необходимости увеличения объема памяти для хранения таблиц адресов и перечисления адресатов в заголовке сообщения, большинство разработок способов адресования ориентировано на применение более сложного способа адресования, известного как способ обобщенного адресования абонентов.

Способ обобщенного адреса заключается в присвоении списку абонентов обобщенного (группового) адреса, а на узлах коммутации для каждого варианта списка адресов имеется свой список абонентов. Правила формирования списка адресов могут отражать иерархическую структуру сети коммутации сообщений (например, зона, подзона, подсеть, локальная сеть и т.п.) и назначать множества специальных адресов - для циркулярной (широковещательной) и групповой (по списку) рассылки сообщений. Использование обобщенного адреса обеспечивает независимость объема адресной части заголовка от количества абонентов – получателей сообщения, так как указывается только один обобщенный адрес списка адресатов.

Возможны два способа использования обобщенного адреса.

1. Обобщенный адрес используется только при вводе сообщения в сеть.

2. Обобщенный адрес используется при вводе сообщения в сеть и при передаче между узлами коммутации.

В первом случае сообщение, содержащее обобщенный адрес, на первом же узле преобразуется в многоадресные и одноадресные сообщения. Для выполнения этой операции в памяти j-го узла коммутации должно храниться дополнительных адресов:

$$B_1(j) = \sum_{i=1}^{n_j} b_i,$$

где n_j – число обобщенных адресов групп абонентов для циркулярной передачи в j – м узле;

b_i –число адресов в i – м обобщенном адресе (циркуляре).

Во втором случае сообщение доводится до всех узлов сети, а от них абонентам, входящим в список обобщенного адреса. При этом в памяти j-го узла коммутации должно содержаться

$$B_2(j) = \sum_{i=1}^{k} b_i$$

адресов, где k – общее число обобщенных адресов.

Поскольку, в общем случае, $k > n_j$, то $B_1(j) < B_2(j)$, т. е. первый способ задействует меньший объем памяти. Однако для доведения циркулярных сообщений до адресатов при первом способе использования обобщенного адреса в сети с M узлами необходимо ввести в сеть (из узла отправителя) $\sum_{i=1}^{M} b_i$ сообщений, а при втором способе – M одинаковых сообщений.

Второй способ используется, когда циркулярные сообщения предназначаются абсолютно большинству абонентов сети, т.е. $n_j \leq k$, так как при первом способе значительно увеличивается число передаваемых в сеть сообщений.

Список используемых источников

1. Гойхман Э. И., Лосев Ю. И. Передача информации в АСУ. Изд. 2-е. доп. и перераб., М, «Связь», 1976, 280 с., с. 240-242.

2. Мизин И. А., Богатырев В. А., Кулешов А. П. Сети коммутации пакетов / Под ред. В. С. Семенихина. М: Радио и связь, 1986. 406 с., с. 296–306.

METHODS AND OF ADDRESSING MESSAGES

Lyashuk M., Tkachev D., Abramova N.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The article discusses methods and methods of addressing unicast and multicast messages in message transmission networks with the definition of the volume required to store addresses on message switching nodes.

Key words: *addressing, method, method, message, amount of memory, unicast message, multicast message, message header*

УДК 621.396.96
ГРНТИ 49.33.29

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛЯРНОГО КОДИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ (5G)

В. П. Макогон, А. А. Негурица, М. П. Неволин

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Полярные коды, предложенные Эдвардом Шенноном, представляют собой мощный инструмент для достижения теоретически предельной производительности в условиях шумовых каналов. С учетом растущих требований к скорости и надежности передачи данных в сетях 5G, исследование их характеристик и применения становится особенно актуальным.

5G, полярные коды, кодирование, поляризация, помехоустойчивые коды

Предложенные в последние несколько лет полярные коды представляют собой одно из последних дополнений к семейству кодов с прямой коррекцией ошибок (FEC). Когда длина кодового слова N стремится к бесконечности, было показано, что они достигают пропускной способности канала в двоичных дискретных каналах без памяти с помощью алгоритма последовательного сглаживания (SC) низкой сложности. Однако при практической длине кода их производительность начинает снижаться. Благодаря низкой сложности кодирования и декодирования по алгоритму SC, которые привлекли внимание ученых и промышленности в последнее десятилетие, они были недавно приняты в стандарте New Radio (NR) 5G для восходящих и нисходящих каналов управления, где указаны полярные коды с короткой или умеренной длиной блока. Семейство кодов LDPC в то же время используется для канала передачи данных в услуге расширенной мобильной широкополосной связи (eMBB) [1].

До полярных кодов на практике использовались турбокоды и LDPC-коды, которые имеют отличные характеристики, но не способны достичь пропускной способности. В 2009 году Арикан сделал огромный шаг, доказав, что мы можем использовать теорию поляризации каналов для получения кодов, обладающих свойством достижения пропускной способности при низкой сложности кодирования и декодирования. Кратко о полярных кодах и их построении: (1) общие каналы на входе, рассматриваемые B-DMC, объединяются в канальный вектор, затем они разбиваются на каналы, которые являются виртуальными каналами, и поляризуются либо в ноль,

либо в единицу. С увеличением длины блока кодов пропускная способность этих каналов стремится либо к нулю (бесполезные каналы), либо к единице (идеальные каналы). Эта теорема называется поляризацией каналов. (2) Передача поляризованных битов по виртуальным каналам дает возможность получить коды, которые достигают пропускной способности, и эти коды являются полярными кодами, которые декодируются многими методами. Предположим, что входной алфавит X представляет собой дискретный канал без памяти с {0, 1}. Работа с параметрами канала приводит нас к определению двух важных параметров. Первый – это симметричная емкость I(W), а второй – параметр Бхаттачарьи Z(W). Параметр Бхаттачарьи дает нам меру надежности канала.

$$I(W) = \sum_{Y \in y} \sum_{X \in x} \frac{1}{2} W\left(\frac{Y}{X}\right) log \frac{W\left(\frac{Y}{X}\right)}{\frac{1}{2}W\left(\frac{Y}{0}\right)+\frac{1}{2}W\left(\frac{Y}{1}\right)} \quad (1)$$

$$Z(W) = \sum_{Y \in y} \sqrt{W\left(\frac{Y}{0}\right) W\left(\frac{Y}{1}\right)} \quad (2)$$

Связь между *I(W)* и *Z(W)* такова:

$$I(W) \geq log\left(\frac{2}{1+Z(W)}\right) \quad (3)$$

$$I(W) \leq \sqrt{1 - Z(W)^2} \quad (4)$$

$$I(W) \geq 1 - Z(W) \quad (5)$$

равенство которых имеет место, если канал *W* является каналом с двоичным стиранием (BEC). Уравнения 3, 4 и 5 показывают, что существует обратная зависимость между I(W) и Z(W), т.е. если значение *I(W)* близко к единице, то значение *Z(W)* близко к нулю, и в этом случае двоичные дискретные каналы без памяти (B-DMC) находятся в хорошем состоянии, а если значение *I(W)* близко к нулю, то значение *Z(W)* близко к единице, и в этом случае B-DMC находится в плохом состоянии, т.е. надежность канала очень низкая. Группу, состоящую из полярного кодера/декодера и канала, можно рассматривать как набор из *N* каналов, в каждом из которых передается один бит [2]. Взаимная информация между информацией *(u0, u1)*$\in X^2$ и полученными значениями *(y0, y1)* $\in Y^2$, когда передача осуществляется с использованием двух независимых экземпляров W, задается следующим образом:

$$I(Y_0, Y_1; U_0) = I(W) = I(Y_0, Y_1; U_1) \quad (6)$$

Термин «поляризация» означает, что *N* каналов разделены на две группы. Группа очень надежных каналов с очень низкой вероятностью ошибки и группа ненадежных каналов с высокой вероятностью ошибки.

Если *(u0, u1)* преобразуются в *(x0, x1)*, как показано на рисунке 1, так что *x0 =u0⊕u1* и *x1 = u1*, значения взаимной информации между информацией и принятыми символами становятся:

$$I(Y_0, Y_1; U_0) \le I(W) \le I(Y_0, Y_1; U_1) \tag{7}$$

Это означает, что вероятность правильной оценки *u1* увеличивается, а правильной оценки *u0* уменьшается. На рисунке 2 показано преобразование поляризации для $N = 8$. Теперь можно показать, что доля надежных каналов для данной кодовой скорости R асимптотически достигает пропускной способности канала, как это определяется в теории информации, когда число преобразований увеличивается, а длина кода N стремится к бесконечности.

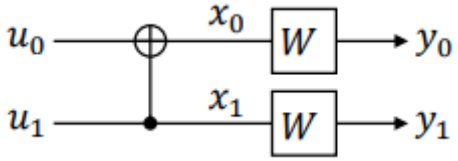


Рис. 1. Преобразование поляризации для полярных кодов длины $N = 2$

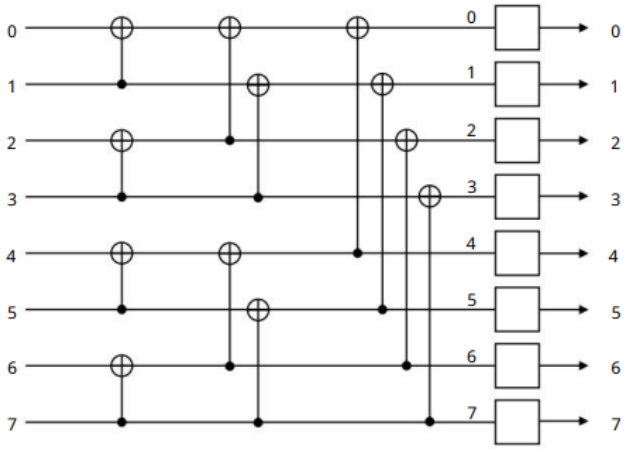


Рис. 2. Преобразование поляризации для полярных кодов длины $N = 8$

Прежде чем представить генераторную матрицу, определим произведение Кронекера, которое используется для создания генераторной матрицы полярных кодов. Определение: если у нас есть матрица $A_c(m)$ строками и (n) столбцами и матрица $B_c(k)$ строками и (l) столбцами, то произведение Кронекера определяется следующим образом

$$A \otimes B = \begin{bmatrix} a_{11}B & \cdots & a_{1n}B \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1}B & \cdots & a_{mb}B \end{bmatrix} \tag{8}$$

Обозначим $A^{\otimes n}$ как произведение Кронекера, что означает умножение матрицы A на саму себя (n) раз, т.е. $A^{\otimes n} = A_1 \otimes A_2 \cdots \otimes A_n$.

С помощью теоремы о поляризации строятся полярные коды, которые обладают свойствами достижения пропускной способности канала *I(W)*. При поляризации каналов создаются два канала, один из которых является хорошим и имеет высокое качество пропускной способности (совершенный), а другой – плохой и имеет низкое качество пропускной способности (бесполезный). Мы выбираем идеальные каналы и загружаем в них данные, в которых параметр Бхаттачарьи настолько мал, насколько это возможно, то есть $Z\left(W_N^{(i)}\right)$ близок к нулю [3].

В B-DMC *W* мы можем кодировать полярные коды с помощью простого организационного метода. Пространственная сложность кодера равна *O(N)*, а временная сложность – *O(Nlog(N))*. Генераторная матрица *G* может быть определена как $G_N = B_N F^{\otimes n}$, где $n = log(N)$, B_N называется битовой обратной матрицей, а $F^{\otimes n}$ – произведением Кронекера, где $F = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$, как упоминалось ранее в определении. На рисунке 3 показан простой пример 8-битного полярного кодирования. Если мы имеем полярный код с длиной блока *N*, то он состоит из входного вектора u_1^N т.е. $u_1^8 = [0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1]$ и вектора на выходе x_1^N, то есть $x_1^8 = [1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1]$. Переход между входным и выходным вектором $u_1^N \longrightarrow x_1^N$ является линейным над полем Галуа *(GF(2))* таким, что, $x_1^N = u_1^N G_N$

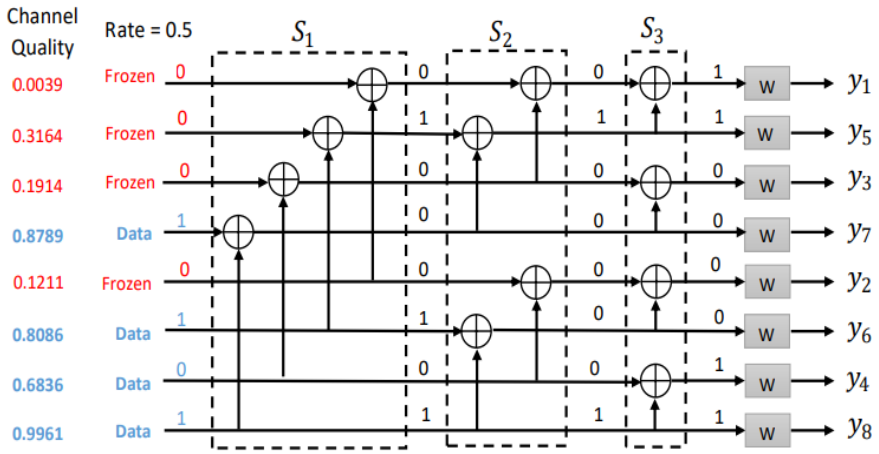


Рис. 3. Диаграмма полярного кодирования

Как правило, алгоритм декодирования – это процесс, в котором полученная информация на выходе канала обрабатывается для получения переданной информации с наименьшим количеством возможных ошибок. Алгоритмы декодирования бывают более или менее сложными, быстрыми и эффективными. На сегодняшний день существует множество подходов

к эффективному декодированию полярных кодов, начиная с первого алгоритма декодирования полярных кодов – декодера с последовательной отменой (SC). Хотя SC обеспечивает очень хорошую производительность для длинных полярных кодов, он значительно ухудшает производительность декодирования по методу максимального правдоподобия при коротких и умеренных длинах блоков. Для преодоления этой проблемы были предложены декодеры со списком последовательной отмены (SCL), последовательной отмены с переворотом (SCF) и последовательной отменой сложения (SCS), которые являются производными от декодеров SC, но при этом имеют дополнительную сложность. Однако из-за последовательного характера обработки алгоритма декодирования на основе SC все вышеперечисленные алгоритмы имеют высокую задержку декодирования и низкую пропускную способность, что существенно влияет на их практическое применение. Хотя эти алгоритмы характеризуются наличием жестких выходов (т.е. выходом являются биты), большое внимание привлекли полностью параллельные алгоритмы декодирования, такие как *belief propagation* (BP) с мягким выходом. Проводились исследования на производительность BP-декодирования на основе представления факторного графа Форни. Результаты показали, что BP-декодирование превосходит SC-декодирование по задержке декодирования и пропускной способности.

Список используемых источников

1. Yamini Pushpa B., Sunita Panda Dr. Hybrid Multi Kernel Polar Code Construction and Optimized Decoding Algorithm for 5G Mobile Communications // J. Electrical Systems 20-3s. 2024, 1000-1006.

2. Tirthadip Sinha, Jaydeb Bhaumik. (2021). Performance analysis of NR Polar Codes at short information blocks for control channels // 10.21203/rs.3.rs-203428/v1..

3. 3GPP TS 38.212 V18.2.0 (2024-03) // 3rd Generation Partnership Project. Technical Specification Group Radio Access Network. NR. Multiplexing and channel coding. (Rel. 18).

EXPLORING THE POSSIBILITIES OF POLAR CODING TECHNOLOGY IN FIFTH GENERATION (5G) SYSTEMS

MakogonV., Neguritsa A., Nevolin M.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

Polar codes, proposed by Edward Shannon, represent a powerful tool for achieving theoretically optimal performance in noisy channel conditions. Given the increasing demands for speed and reliability in data transmission in 5G networks, exploring their characteristics and applications becomes particularly relevant.

Key words: *5G, polar codes, encoding, polarization, noise-resistant codes*

УДК 621.395
ГРНТИ 49.34.06

ПРОФИЛИРОВАНИЕ КЛИЕНТОВ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ В КОНТАКТ-ЦЕНТРАХ

М. А. Маколкина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В последнее время телемедицинские услуги набирают все большую популярность среди пользователей. При обращении в контакт-центр пользователь рассчитывает на актуальный и быстрый ответ на вопрос и оперативное решение проблемы. Контакт-центр оперирует большими объемами информации, которые часто используются недостаточно, некорректно или не по назначению вообще. Данное исследование направлено на применение методов анализа данных для создания профилей клиентов в контакт центре, что позволит реализовать индивидуальный подход и повысить качество предоставления телемедицинских услуг.

контакт-центр, телемедицинские услуги, качество восприятия, профиль пользователя

В настоящее время услуги телеприсутствия активно исследуются и внедряются в различные сферы человеческой жизни [1, 2, 3]. Услуги и устройства телеприсутствия имеют довольно обширную сферу применения, и в свою очередь решают ряд проблем, связанных с оказанием дистанционной помощи людям, передачи опыта, обучения и даже совместных развлечений. Среди них в отдельную группу можно выделить телемедицинские услуги, развитие которых обусловлено рядом причин, а именно высоким уровнем развития медицинских и телекоммуникационных технологий, увеличение потребности население в получении высококвалифицированной помощи, особенно в территориально удаленных районах, необходимость регулярного повышения и подтверждения квалификации врачей, консилиума в сложных случаях и др. Объем рынка телемедицинских услуг существенно вырос за последние 5 лет как показано на рисунке 1 [4]. Более того, по прогнозам, число пользователей телемедицинских услуг в ближайшее время вырастет в разы, как показано на рис. 2 [5], а согласно исследованию [6], к 2025 году контактные центры станут результатом объединения человеческих усилий, автоматизации и машинного обучения. Таким образом, формирование подхода предоставления телемедицинских услуг на базе контакт-центров, отвечающих всем требованиям качества восприятия, является актуальной задачей.

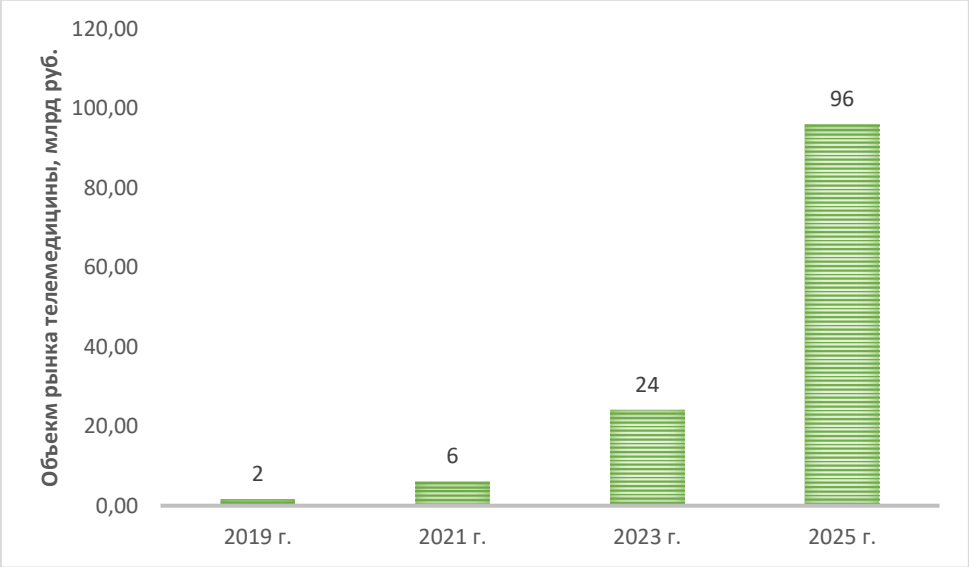


Рис. 1. Объем рынка телемедицины

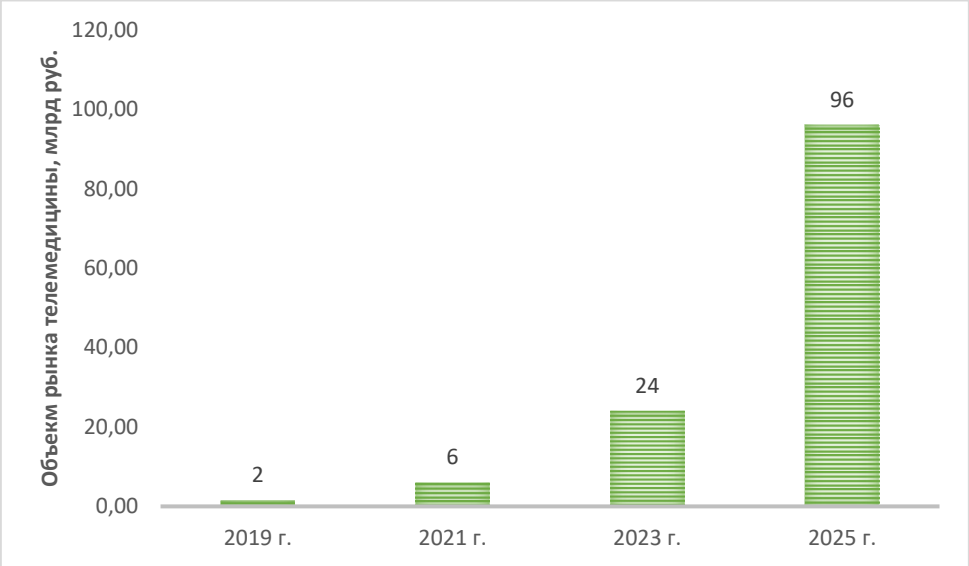


Рис. 2. Прогноз числа пользователей телемедицинских услуг

Для того, чтобы предоставление телемедицинских услуг на базе контакт-центров было надлежащего качества, необходимо создавать профили клиентов [7, 8]. Механизмы профилирования клиентов должны предоставлять явный набор информации о предпочтениях, интересах и моделях поведения наблюдаемых клиентов [9]. На основе атрибутов, содержащихся в профиле клиента, система принимает решения с точки зрения выбора правильного оператора контактного центра, предвосхищая потребности конкретного клиента. Таким образом, профиль клиента может быть основан на извлечении его свойств из информации журнала о предоставленных услугах, моделях поведения и других общих характеристиках каждого клиента,

а целью исследования является определение атрибутов, которые будут наиболее релевантными для создания профиля клиента и их оценка.

Принимая во внимание информацию, полученную из предыдущих действий клиента, атрибуты описания клиента можно сгруппировать в статические и динамические. В таблице 1 показано, какие атрибуты используются для описания клиентов.

ТАБЛИЦА 1. Атрибуты профиля клиента

	Профиль клиента		
	Атрибуты	Тип данных	Формат
Статические	Идентификатор клиента	Число	
	Приоритет клиента	Число/Категория	1, 2, 3
	Возраст	Число/Категория	54
	Занятость	Строка/Категория	
	Семейное положение	Строка/Категория	
	Образование	Строка/Категория	
Динамические	Дата звонка	Дата	ДД.ММ.ГГ
	Тип проблемы	Строка/Категория	ПР1, ПР2, ПР3
	Частота звонков	Число/Категория	1, 2, 3
	Оценка частоты звонков	Число/Категория	1, 2, 3
	Время ожидания в очереди	Число	
	Рейтинг терпения клиента	Число/Категория	1, 2, 3
	Время обслуживания	Число	

Конечно, при предоставлении любой услуги каждый клиент одинаково важен. Однако в ряде ситуаций невозможно реагировать на всех клиентов одинаково. Для этой цели существует атрибут профиля клиента, называемый рейтингом приоритета клиента. Это данные, которые рассчитываются в автономном режиме и изымаются из базы данных системы при идентификации клиента и включают в себя рейтинг удовлетворенности клиента, оценку прибыльности и жизненного цикла клиента.

Тип проблемы подразумевает тип услуги, запрашиваемой клиентом в контактном центре. Сообщаемые проблемы различаются по сложности. Сама сложность проблемы приводит к разным временам ожидания, разным

временам обслуживания и разным операторам, которые могут обслуживать клиентов.

Атрибуты, связанные с поведением клиента в системе IVR (англ. Interactive Voice Response), очередью, и тем, был ли клиент обслужен или повесил трубку, используются для оценки терпения клиента. Не все клиенты ведут себя одинаково в очереди, и не все могут ориентироваться в системе IVR. Некоторые клиенты могут иметь большую тенденцию выпадать из очереди. На основе предыдущих взаимодействий с клиентами можно оценить определенное время, в течение которого звонок клиента должен быть принят, чтобы он не повесил трубку.

Частота вызовов является одним из ключевых атрибутов для улучшения QoE. Когда мы говорим о частоте повторного вызова, то мы различаем повторение в течение дня и повторение в течение семи дней. Рейтинг частоты вызовов представляет собой сумму рейтинга частоты вызовов в день и оценки частоты вызовов в неделю. Оценка частоты звонков в день показывает, сколько кумулятивных звонков было у клиента за один день. Часто бывает так, что клиент не может решить проблему в первом разговоре не только из-за ограниченных возможностей оператора, но и из-за отсутствия некоторой информации, которой может обладать только клиент. Так что второй и третий звонок в течение дня можно считать повторными и в какой-то степени приемлемыми для работы контакт-центра. Звонки, которые повторяются более двух раз в течение одного дня, влияют на QoE (качество восприятия), но также и на QoS (качество обслуживания) всей системы. Звонки, которые имеют частоту появления в течение дня более двух раз, являются ненужной дополнительной нагрузкой для всей системы.

В этой статье предложена модель для создания атрибутов клиента контактного центра. Таким образом, профиль описывает общие характеристики клиента, когнитивные процессы, на которых основывается деятельность клиента с точки зрения использования услуг контактного центра, и модели поведения клиента. Особое внимание уделяется усилению двух основных измерений контактного центра: доступности и эффективности. Мерой доступности будет «как долго клиенту пришлось ждать, чтобы поговорить с оператором?» (т. е. время ожидания в очереди) и «сколько клиентов покинули очередь до того, как их обслужили? (т.е. скорость очереди). Сокращение времени ожидания в очереди не только повышает качество обслуживания с точки зрения клиента, но и снижает вероятность того, что клиент покинет систему неудовлетворенным до обслуживания. На основе текущей модели клиента, оператора выбирают из набора доступных операторов тех, кто лучше всего подходит клиенту в личном и профессиональном смысле.

Список используемых источников

1. Рынок роботов телеприсутствия: рост, тенденции, влияние Covid-19 и прогнозы (2022-2027 гг.) // Точная рыночная аналитика и консультации. URL: https://www.mordorintelligence.com/ru/industryreports/telepresence-robots-market (дата обращения 13.02.2025).

2. Koucheryavy A. E., Makolkina M. A., Paramonov A. I., Pankov B. O., Anvarzhonov B. N. A First-Priority Set of Telepresence Services and a Model Network for Research and Education // CCIS, 2023. V. 1748. P. 208–219.

3. Volkov A. Traffic Type Recognition in 6G Software-Defined Networking for Telepresence Services / Mineeva, V., Muthanna, A., Koucheryavy, A. // In 2024 26th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT), 2024. PP. 01–06.

4. Медтех тренды: что будет в фокусе в 2021 году // Azoft. URL: https://www.azoft.ru/blog/medtech-trends-2021 (дата обращения 13.02.2025).

5. Шарлаева М. В. Исследование внедрения телемедицинских услуг в организации здравоохранения // Электросвязь, 2024. № 6. С. 22–29.

6. Strategist Ch., Cottam T. Contact centre 2025: Trends, Opportunities and Strategies // Telesperience, 2016.

7. Avdagić-Golub, E. Profiling Contact Center Customers for Optimization of Call Routing Using Data Mining Techniques / E. Avdagić-Golub, M. Begović, S. Čaušević, A. Kosovac // IEEE, 20th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2021. DOI: 10.1109/INFOTEH51037.2021.9400671.

8. Rekettye G. The Changing Role of Customer Experience in the Age of Industry 4.0 / Rekettye, G., Rekettye, Jr. // Marketing & Menedzsment, 2020. № 54 (1). PP. 17–27.

9. Eke Chr. Survey of User Profiling: State-of-the-Art, Challenges, and Solutions / Chr. I. Eke, A. A. Norman, L. Shuib, H. F. Nweke// IEEE Access, 2019. Vol. 7. PP. 144907–144924.

PROFILING CLIENTS OF TELEMEDICINE SERVICES IN CONTACT CENTERS

Makolkina M.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Recently, telemedicine services have become increasingly popular among users. When contacting a contact center, the user expects a relevant and quick answer to a question and a prompt solution to the problem. The contact center operates with large volumes of information that are often used insufficiently, incorrectly, or not for their intended purpose at all. This investigation is aimed at applying data analysis methods to create customer profiles in the contact center, which will allow for an individual approach and improve the quality of telemedicine services.

Key words: *contact center, telemedicine services, quality of perception, user profile*

УДК 621.395
ГРНТИ 28.17.33

АНАЛИЗ УСЛУГ И ПРИЛОЖЕНИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

М. А. Маколкина, В. А. Трухин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Одним из важнейших шагов к популяризации концепции Интернета вещей стало появление беспроводных сенсорных сетей. Логичным продолжением и расширением этой концепции стала технология «дополненной реальности». Особенно заметна ее роль в развитии новых концепций сетей связи, таких как Тактильный Интернет и Интернет навыков, где дополненная реальность стала неотъемлемой частью разработки и внедрения приложений.

дополненная реальность, услуги, приложения дополненной реальности

Современные технологии стремительно развиваются, открывая новые горизонты для взаимодействия человека с окружающим миром. Одним из наиболее перспективных направлений является дополненная реальность (ДР), которая позволяет интегрировать виртуальные объекты в реальную среду, создавая уникальный пользовательский опыт. Дополненная реальность находит применение в самых разных сферах жизни – от развлечений до образования, медицины и промышленности. Однако для успешного внедрения ДР-технологий необходимо провести глубокий анализ существующих услуг и приложений, чтобы выявить их сильные и слабые стороны, а также определить перспективы дальнейшего развития.

Целью данной работы является исследование текущего состояния рынка услуг и приложений дополненной реальности, выявление основных тенденций и проблем, связанных с их использованием, а также оценка потенциала этих технологий для различных отраслей экономики. В рамках исследования будут рассмотрены примеры применения технологий ДР в различных областях, а также слой прикладного уровня, который позволяет конечному пользователю быть вовлеченным в те или иные результаты нового технического и технологического процессов. Особое внимание будет уделено вопросам предоставления услуг ДР и факторам экономического роста той или иной сферы применения технологий ДР.

Если говорить о востребованности и степени внедрения устройств ДР на рынке, согласно отчету *Market Research Future* (Рис. 1) [1]: в 2024 году рынок устройств достиг 19,44 млрд. долларов, прогноз на 2025 год – близко к 25 млрд., если забегать на 10 лет вперед, прогноз составляет около 160 млрд. Анализируя предыдущие годы, рынок аналогично рос, даже несмотря на трудности 2020-2021 годов, что показывает стабильный спрос на устройства ДР. Эти факторы позволяют понять актуальность и вовлеченность бизнеса в сферу дополненной реальности.

Рис. 1. Рынок устройств дополненной реальности

Среди ключевых областей применения услуг дополненной реальности можно выделить следующие.

1. Медицина

Применение дополненной реальности в медицине обширно и несет в себе ряд очевидных выгод для решения специфических врачебных задач. Как известно один из самых сложных и важных медицинских процессов – это постановка диагноза пациенту, причем сам пациент не всегда понимает медицинскую терминологию и может ответить на вопросы врача, о сданных анализах, полученных результатах, назначенных курсов лечения. Предыдущие исследования дополненной реальности в сфере медицины показывали, что идет активное использование технологии в хирургии [2], а также в диагностике и реабилитации [3].

Область медицины остается очень важным сегментом развития технологий ДР в виду развития телекоммуникаций в целом, а также уже успешными и полезными внедрениями этой технологии. Согласно отчету MarketsandMarkets [4], рынок ДР в здравоохранении растет со среднегодовым темпом роста (CAGR – Compound annual growth rate) около 30 % и достигнет $4,23 млрд к 2026 году.

Как пример использования ДР, можно выделить прибор компании AccuVein, позволяющий отсканировать руку пациента, отобразив вены, чтобы упростить работу медицинскому персоналу и облегчить процедуру. Пример использования прибора (рис. 2):

Рис. 2. Наглядное использование прибора AccuVein

2. Образование

Внедрение дополненной реальности в образовательный процесс влечет за собой преимущества как для учащихся, так и для преподавателей. Первое с чего начали разработчики приложений ДР в области образования – это визуализация различных процессов, физических, химических, биологических, таким образом облегчается понимание естественных наук.

Одним из примеров книг, использующих технологию ДР, является MagicBook, которая базируется на обычной книге в качестве реального объекта и основного интерфейса [5]. При чтении книги без вспомогательных устройств пользователь просто видит текст и рисунки. Если у пользователя есть устройство ДР, то в процессе изучения материала, книга как будто оживает, и читатели могут посмотреть на объемные фотографии, трехмерные виртуальные модели изображенных объектов.

Спрос на доступное образование продолжает расти год за годом, в связи с этим возникает потребность внедрения новых технология в угоду повышения эффективности качества предоставляемых услуг образования. Рынок ДР в образовании растет с CAGR ~18,2 % [6]. Ожидается, что к 2030 году его объем достигнет $14,2 млрд.

3. Строительство, архитектура и дизайн

Область строительства, архитектуры и дизайна больше всего выиграли от появления технологии дополненной реальности. В настоящий момент сложные чертежи зданий и сооружений можно увидеть в трехмерном виде и сразу проецировать на месте их строительства, чтобы понять, как они интегрируются в существующий ландшафт.

Как пример приложения дополненной реальности, можно выделить Trimble Augmented Reality, он предназначен для визуализации и анализа строительных данных на реальной площадке с помощью мобильных устройств, планшетов или гарнитур дополненной реальности.

Рис. 3. Пример использования Trimble Augmented Reality

Касательно ориентиров рынка, согласно отчету Grand View Research [6], рынок AR в промышленности растет с CAGR около 40 % и достигнет $18,8 млрд к 2030 году.

4. Игры и развлечения

Игры, которые используют геопозицию, представляют собой увлекательный и необычный формат в мире дополненной реальности. В их основе лежат карты и объекты из реального мира, где площади, здания и улицы

превращаются в игровое пространство. Такие приложения придают знакомым местам новый облик, насыщая их увлекательными историями и интересными заданиями.

Можно смело утверждать, что игровая индустрия предоставляет огромные возможности для разработки приложений, так как имеет довольно большую аудиторию. Одной из первых игр с использованием дополненной реальности стала PokemonGo, в которую на пике популярности играло более 10 миллионов человек, и это только в США [7]. Необычность и увлекательность этой игры заключалась именно в том, что объекты виртуального мира отображались в реальной окружающей человека среде.

Сегмент развлечений продолжает лидировать в объемах, так как доступность использования технологий ДР в этой сфере одна из самых высоких, так как для «пробы» достаточно лишь смартфона. Рынок AR-игр растет с CAGR ~25,4 %. Ожидаемый объем к 2030 году – $38,6 млрд. [6].

5. Безопасность

Безопасность является одной из важнейших областей. Например, в военной промышленности широко применяются очки дополненной реальности для отработки технико-тактических приемов во время тренировочного процесса, далее данные по каждому солдату могут передаваться в центр подготовки для анализа.

Также новшества появились для инспекторов транспортной полиции [8]. Были представлены очки дополненной реальности, которые позволяют идентифицировать номер авто, марку и модель транспортного средства, дату выдачи соответствующих документов, их срок действия и так далее. Помимо этого, к очкам инспектора можно подключиться дистанционно и вести запись происходящего, автоматически фиксировать начало проверки транспортного средства и формировать документы по результатам проверки. Очки были разработаны Ространснадзором и ООО «Астра консалтинг».

Рынок ДР в сфере безопасности оценить довольно сложно, так как нет данных в открытом доступе, но несложно догадаться, что до структур, отвечающих за безопасность, технологии доходят тоже высокими темпами.

6. Голографическое присутствие

Для того, чтобы повысить эффективность использования, дополненная реальность все чаще применяется в комплексе с другими технологиями.

Например, она может быть использована совместно с приложениями Интернета вещей, Тактильного интернета, виртуальной реальностью и голографическим телеприсутствием. Использование голографической поддержки позволяет сделать дополненную реальность более понятной и увлекательной для пользователя. Она дает возможность видеть виртуальные голограммы, которые являются объемным цветовым изображением. Современное оборудование позволяет создавать голограммы, практически не отличающиеся от реальных вещей. В том числе такой эффект достигается за счет точного отслеживания положения пользователя в заданном пространстве и в зависимости от его расположения воспроизведения ему стереоскопического изображения.

Одним из самых распространенных вариантов является оборудование Hololens разработки Microsoft. Microsoft HoloLens 2 является одной из лучших на рынке гарнитурой с дисплеем, устанавливаемой на голову [9]. Это устройство, изготовленное из высококачественных материалов, предлагает лучшее отслеживание положения. Отслеживание рук работает хорошо, а 3D-просмотр гораздо более реалистичен. Данное оборудование, помимо развлечений, хорошо проявило себя в медицине, что подтверждается множеством исследований [10, 11, 12].

Сфера телеприсутствия на текущий момент является нишевой, но одной из самых быстрорастущих с CAGR ~45 % (2023–2030 гг.). Ожидаемый объем – $5.4 млрд. к 2030 году [6].

По итогу рассмотрения основных сфер, где внедряются технологии ДР, можно выделить сопоставление области тому или иному приложению/оборудованию, которое позволяет ощутить вклад, пользу или преимущество, предоставляемое технологией ДР. Перечень областей и соответствующие им приложения и оборудование, которые используются для предоставления услуг дополненной реальности указан в таблице 1.

В контексте экономики и рынка, нельзя выделить какую-то одну сферу (Таблица 1), но явное преимущество на текущий момент остается за сферой игр и развлечений. Большая потребность и высокий рост внедрения технологий к 2030 году ожидается в области голографического присутствия и строительстве. Среди стратегически важных областей, можно выделить сферу медицины, так как с использованием технологий ДР планируется решение конкретных задач, как в разделе диагностики, так и, например, в хирургии.

ТАБЛИЦА 1. Сравнительная таблица приложений и роста рынка ДР

Область	CAGR (2023–2030)	Объем рынка к 2030 году	Приложение/ Оборудование
Медицина	~30 % (к 2026 году)	$4,23 млрд. (к 2026 году)	AccuVein
Образование	~18,2 %	$14,2 млрд.	MagicBook
Строительство, архитектура и дизайн	~40 %	$18,8 млрд.	Trimble Augmented Reality
Игры и развлечения	~25,4 %	$38,6 млрд.	PokemonGO
Безопасность	-	-	Очки ДР для инспекторов
Голографическое присутствие	~45 %	$5,4 млрд	Microsoft HoloLens 2

Заключение

Степень проникновения технологии дополненной реальности во многие сферы человеческой жизни требуют разработки новых подходов к обеспечению качества предоставляемых услуг и безопасности передаваемых данных, особенно это критично для приложений, которые связаны со здоровьем человека или крупными промышленными объектами. Таким образом, на сегодняшний день возникает ряд задач, которые необходимо решить в кратчайшие сроки, к ним можно отнести разработку критериев оценки качества работы приложений дополненной реальности, последующая классификация по данным критериям, а также разработка методов тестирования услуг дополненной реальности.

Список используемых источников

1. Augmented Reality Headsets Market Research Report – Global Forecast till 2030 // Market Research Future. URL: https://www.marketresearchfuture.com/reports/augmented-reality-headsets-market-23684 (дата обращения 01.02.2025).

2. Eckert M., Volmerg J. S., Friedrich C. M. Augmented Reality in Medicine: Systematic and Bibliographic Review // JMIR mHealth and uHealth, 2019. Vol. 7. № 4. PP. e10967. DOI: 10.2196/10967. URL: https://mhealth.jmir.org/2019/4/e10967/ (дата обращения 27.11.2024).

3. Моховикова Е. А. Реабилитация с помощью дополненной реальности // XIV Международная научно-техническая конференция «Медэлектроника – 2024. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии». Минск: БГУИР, 2024. URL: https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/58951 (дата обращения 24.01.2025).

4. Augmented Reality Market – Global Forecast to 2030 // MarketsandMarkets. – URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/augmented-reality-market-82758548.html (дата обращения 24.01.2025).

5. Billinghurst M., Kato H., Poupyrev I. The MagicBook - moving seamlessly between reality and virtuality // IEEE Computer Graphics and Applications, 2001. Vol. 21. № 3. P. 6–8. DOI: 10.1109/38.920621.

6. Augmented Reality Market Size & Share Report, 2023–2030 // Grandview Research. URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/augmented-reality-market (дата обращения 04.02.2025).

7. Создатели Pokémon Go заработали $1 млрд // Ведомости. – 03.02.2017. – URL: https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2017/02/03/676087-sozdateli-pokemon-go-zarabotali-1-mlrd (дата обращения 19.10.2024).

8. В России представили AR-очки для проверки транспорта // Минцифры – 22.11.2024. URL: https://digital.gov.ru/events/53831 (дата обращения 15.12.2024).

9. Palumbo A. Microsoft HoloLens 2 in Medical and Healthcare Context: State of the Art and Future Prospects // Sensors, 2022. Vol. 22. № 20. PP. 7709. DOI: 10.3390/s22207709. URL: https://doi.org/10.3390/s22207709 (дата обращения 15.01.2025).

10. Brunzini A., Mandolini M., Caragiuli M., Germani M., Mazzoli A., Pagnoni M. HoloLens 2 for Maxillofacial Surgery: A Preliminary Study // Design Tools and Methods in Industrial Engineering II: Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham, Switzerland: Springer, 2022. P. 133–140.

11. Thabit A., Benmahdjoub M., van Veelen M.L.C., Niessen W.J., Wolvius E.B., van Walsum T. Augmented reality navigation for minimally invasive craniosynostosis surgery: A phantom study // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2022. Vol. 17. PP. 1453–1460. DOI: 10.1007/s11548-022-02634-y.

12. Wierzbicki R., Pawłowicz M., Job J., Balawender R., Kostarczyk W., Stanuch M., Janc K., Skalski A. 3D mixed reality visualization of medical imaging data as a supporting tool for innovative, minimally invasive surgery for gastrointestinal tumors and systemic treatment as a new path in personalized treatment of advanced cancer diseases // Journal of Cancer Research and Clinical Oncology, 2022. Vol. 148. PP. 237–243. DOI: 10.1007/s00432-021-03680-w.

13. Doughty M., Singh K., Ghugre N.R. SurgeonAssist-Net: Towards Context-Aware Head-Mounted Display-Based Augmented Reality for Surgical Guidance // Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention: Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Cham, Switzerland: Springer, 2021. C. 667–677.

ANALYSIS OF AUGMENTED REALITY SERVICES AND APPLICATIONS

Makolkina M., Trukhin V.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Caching segment lasting a few minutes each TV program in the provision of services One of the most important steps towards popularizing the concept of the Internet of Things has been the emergence of wireless sensor networks. The technology of "augmented reality" has become a logical continuation and expansion of this concept. Its role in the development of new concepts of communication networks, such as the Tactile Internet and the Internet of Skills, is particularly noticeable, where augmented reality has become an integral part of application development and implementation.

***Key words**: augmented reality, services, augmented reality applications*

УДК 621.397.13
ГРНТИ 47.51.31

КАМЕРА НАБЛЮДЕНИЯ РАЗРЯДОВ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НА СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕЕ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А. А. Манцветов, Я. Ю. Белогубкин

Научно-исследовательский институт телевидения

В статье представлен обзор методов и технологий, используемых для наблюдения разрядов статического электричества на солнечных батареях космических аппаратов. Рассматриваются причины возникновения статического электричества в условиях космического пространства, а также его влияние на работу аппаратуры космического назначения. Описана разработка специализированной камеры, предназначенной для мониторинга разрядов, включая технические характеристики. Проведенная работа подчеркивает важность контроля статического электричества для повышения надежности энергетических систем космических аппаратов. Материалы данной статьи могут быть полезны специалистам в области космической техники, а также научным сотрудникам, занимающимся проблемами электростатики в экстремальных условиях.

камера наблюдения, электростатические разряды, внутренняя электризация, одиночные импульсы напряжения, аппаратура космического назначения

В настоящее время в космической отрасли актуальна проблема увеличения срока службы космических аппаратов. Прежде всего это связано с дороговизной и длительными сроками их изготовления.

Одним из поражающих факторов, влияющих на работу космической аппаратуры, является статическое электричество. До 30 % отказов в работе космических аппаратов на высоких орбитах связано с повреждениями электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) за счет их электризации. Эти процессы приводят к сбоям, необратимым отказам бортовой аппаратуры, а также к скрытым эффектам повреждения компонентов радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА), пример которого приведен на рис. 1 [1].

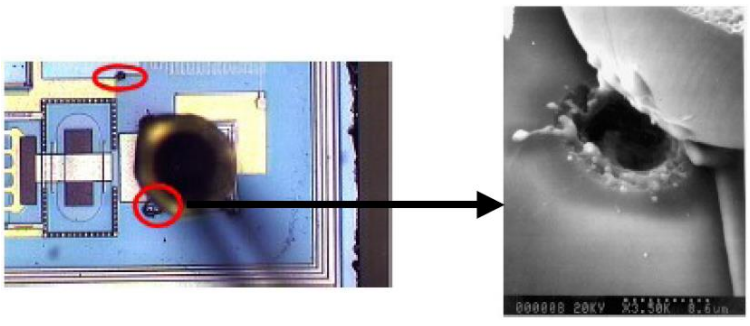


Рис. 1. Скрытое повреждение, вызванное ЭСР

При возникновении скрытых эффектов повреждения компонент продолжает функционировать, электрические параметры остаются в норме, но его надежность сильно падает [2].

Электризация космических аппаратов связана с воздействием потока заряженных частиц околоземной плазмы, солнечного ветра, галактического излучения и света.

С электрофизической точки зрения современные космические аппараты представляют собой проводящие замкнутые гермоконтейнеры, внутри и снаружи которого расположена разветвленная кабельная сеть и бортовая аппаратура [3]. Для обеспечения теплового режима большая часть внешней поверхности космического аппарата (далее – КА) покрыта экранно-вакуумной теплоизоляцией, представляющей собой многослойный пакет тепловых экранов из фольги и диэлектрика. Наличие разнородных материалов и неравномерного облучения КА приводит к формированию внешней электризации на различных участках корпуса. На рис. 2 приведена общая схема возникновения внешней и внутренней электризации в КА [4].

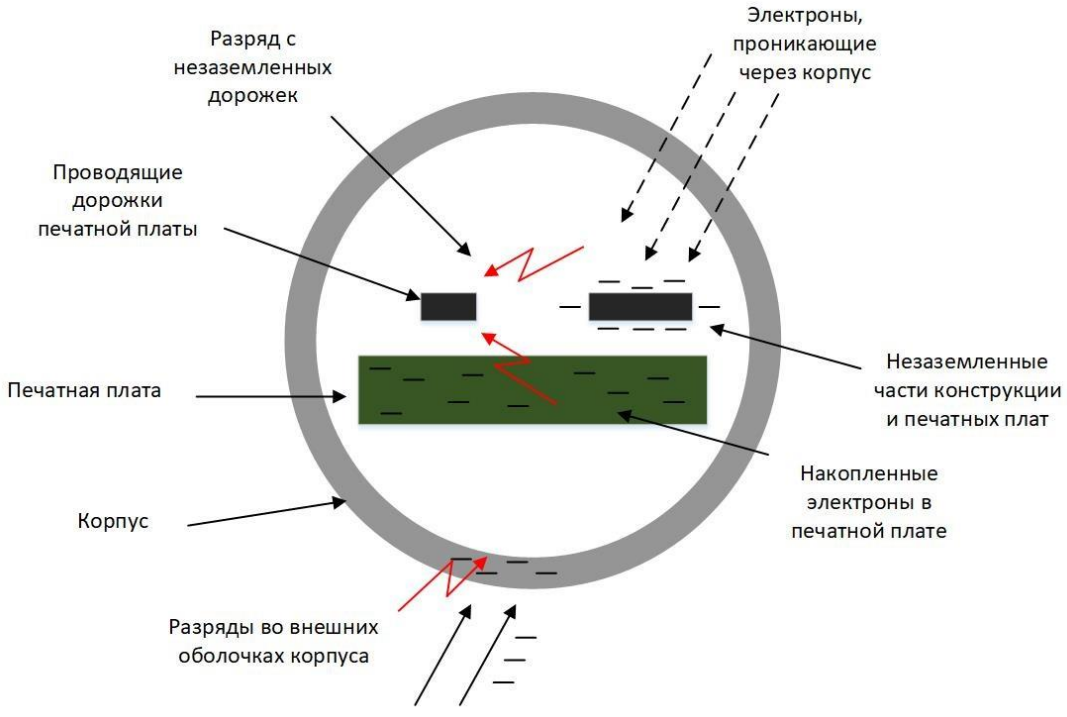


Рис. 2. Общая схема возникновения электризации в КА

Разряд во внешних оболочках характеризуется высокой разностью потенциалов (до 20 кВ), током разряда до 100 А и длительностью импульса до нескольких микросекунд. Такие разряды происходят вдали от чувствительных компонентов, однако большая крутизна импульса

(~ 10^{10} А/с) порождает электромагнитную волну, которая в свою очередь, воздействует на чувствительные компоненты КА, приводя к сбоям и повреждениям РЭА [5].

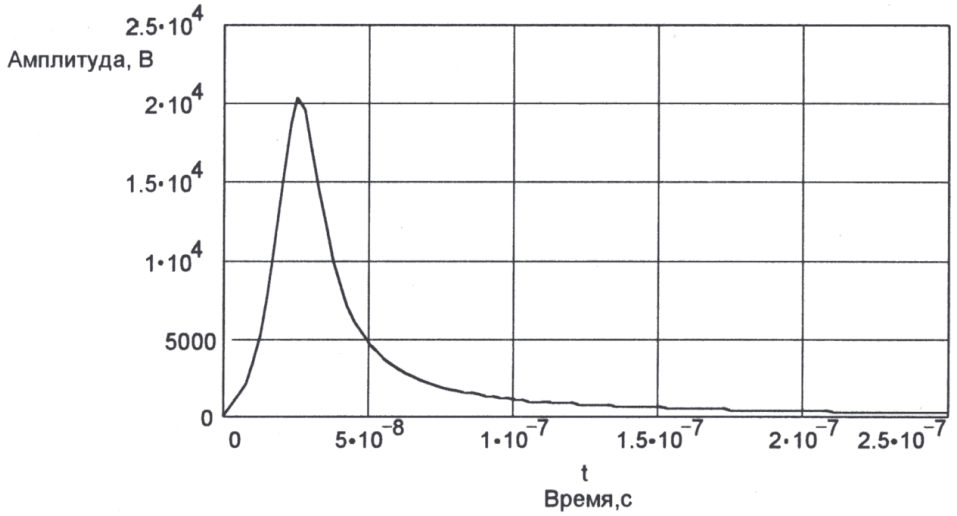


Рис. 3. Возможная форма импульса наводки от ЭСР

Внутренняя электризация связана с процессами в самой РЭА. Заряженные частицы энергией до 100 кэВ поглощаются стандартным корпусом и не проникают внутрь. Однако частицы больших энергий, проходя обшивку КА, поглощаются диэлектриками и незаземленными проводниками, находящимися в составе чувствительной РЭА.

Электростатические разряды (далее – ЭСР), возникающие вследствие внутренней электризации, приводят к возникновению импульсов напряжения на выводах компонентов РЭА КА. Осциллограмма импульса напряжения в качестве примера приведена на рис. 4.

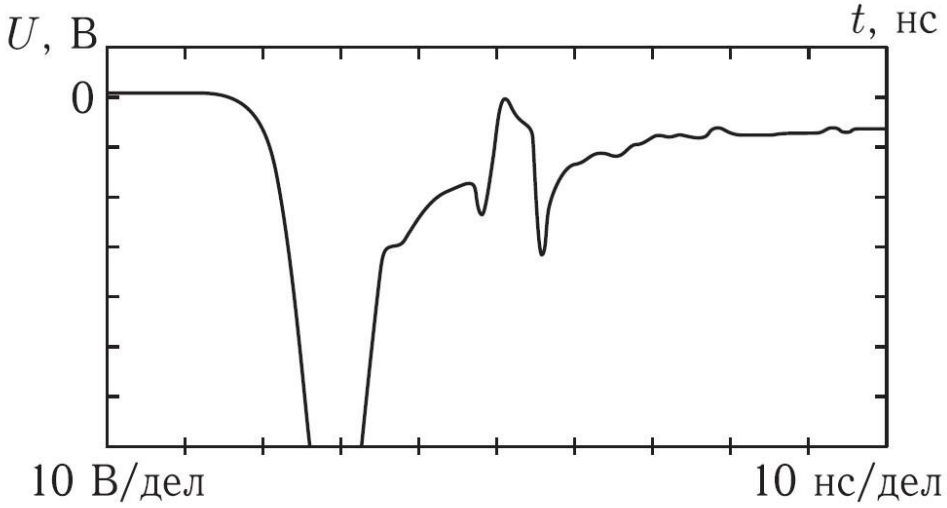


Рис. 4. Пример осциллограммы импульса напряжения на выводе компонента РЭА

В качестве инструмента для мониторинга ЭСР предлагается использование специализированной камеры наблюдения. Внешний вид камеры приведен на рис. 5.

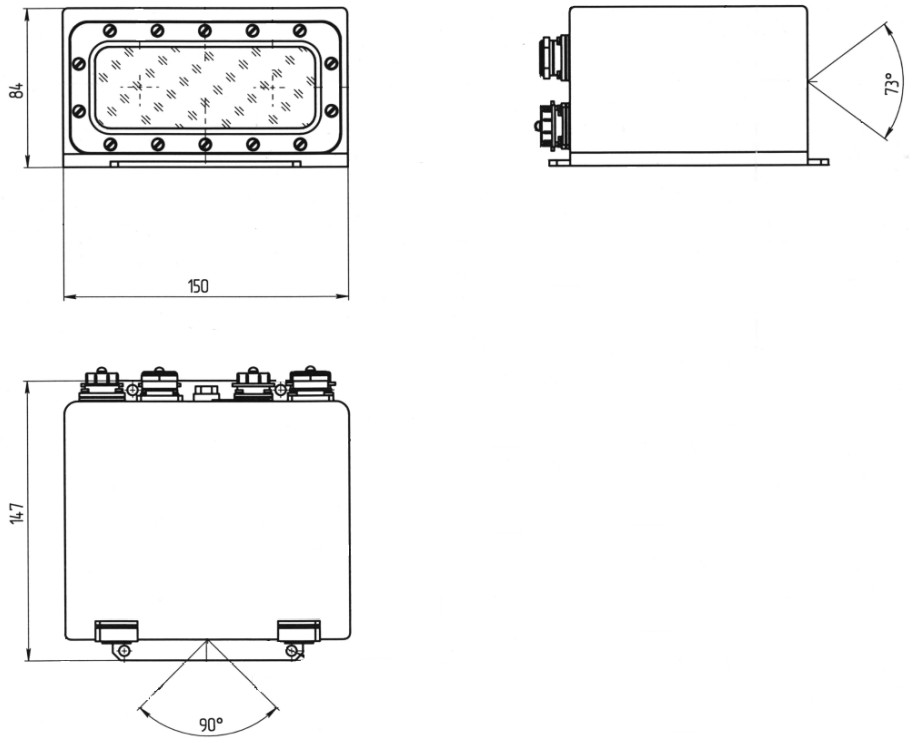


Рис. 5. Внешний вид специализированной камеры наблюдения

Основные технические характеристики специализированной камеры наблюдения приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики камеры наблюдения

Наименование	Значение
Разрешение в режиме «моно», пикселей	1600x1200
Разрешение в режиме «стерео», пикселей	3200x1200
Частота кадров, Гц	25
Угол обзора по горизонтали, ˚	90
Рабочий диапазон освещенности, лк	от 10 до 130000
Дальность наблюдения в рабочем диапазоне освещенности, м	до 10
Диапазон рабочих температур, °С	от минус 50 до плюс 50
Интерфейс приема команд управления и передачи информации	Ethernet 100BASE-TX

Герметичный корпус камеры наблюдения выполнен из алюминиево-магниевого сплава толщиной от 6 до 7 мм. Герметизация обеспечивается применением индия и закачкой азота. Передняя стенка камеры наблюдения выполнена из радиационно-стойкого стекла толщиной 6 мм. Указанная толщина стенок корпуса и защитного стекла позволяет резко уменьшить накопленную дозу радиации. Внутри блока расположены три печатные платы. Структурная схема изделия представлена на рис. 6.

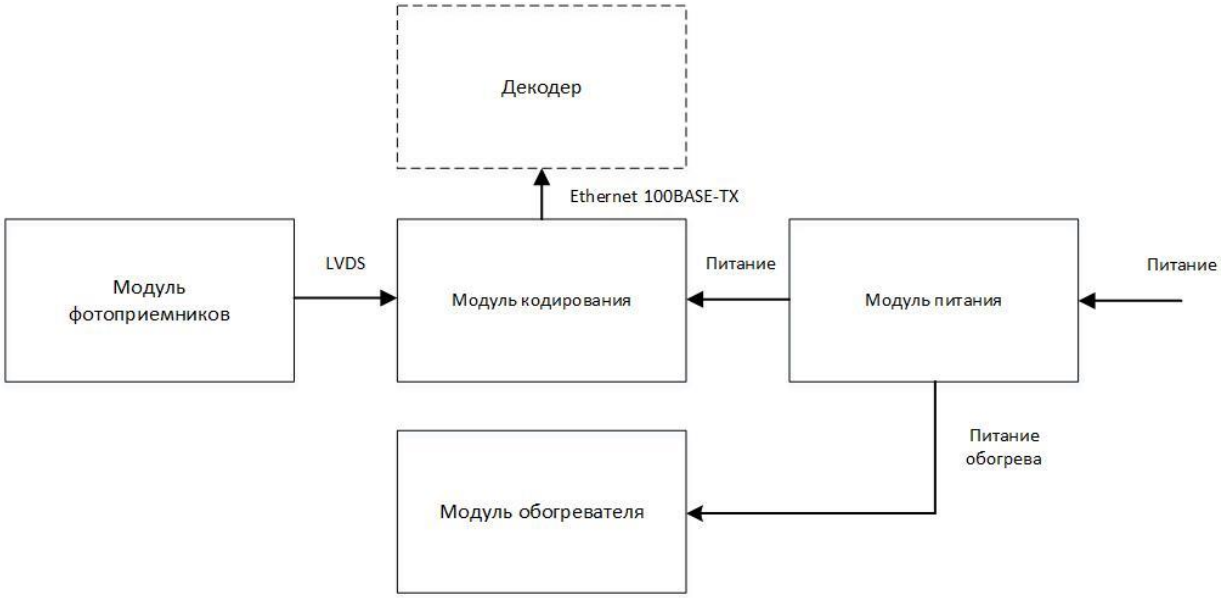


Рис. 6. Структурная схема камеры наблюдения

Охлаждение камеры наблюдения осуществляется через ее основание кондуктивным способом, в том числе с помощью теплоотводящей пластины, что позволяет обеспечить тепловой режим применяемых электрорадиоизделий.

Обогрев камеры наблюдения осуществляется с помощью автоматической системы терморегулирования, основанной на применении двух нагревательных элементов, расположенных внутри корпуса, суммарной мощностью 20 Вт и температурного переключателя. С помощью трех специализированных датчиков температуры реализован постоянный контроль температур корпуса и плат. Система обогрева по линии электропитания независима от электропитания камеры.

В качестве мер по обеспечению сбое- и отказоустойчивости применяемых ЭРИ от воздействия тяжелых заряженных частиц и высокоэнергитичных протонов приняты следующие меры:

– для управляющей логики и аналоговых цепей используются минимальные допустимые напряжения питания;

– вторичное электропитание осуществляется через микросхему контроля потребляемого тока с системой токовой защиты от тиристорного эффекта (1469ТК035);
– в модуле фотоприемника и в модуле кодера применены микросхемы ПЛИС, не подверженные тиристорному эффекту;
– для защиты процессорной части SoC используется сторожевой таймер. При зависании процессора производится перезагрузка SoC и восстановление рабочего состояния;
– для защиты от сбоев типа SET, приводящих к появлению «иголок» питающих напряжений, используются фильтры (конденсаторы и индуктивности) на выходах микросхем и у выводов питания потребителей;
– применены специальные алгоритмы работы программного обеспечения, позволяющие предотвращать сбои и отказы.

При работе изделия видеоизображение передается по интерфейсу Ethernet 100BASE-TX в бортовую вычислительную систему, где оно обрабатывается. Обработка видеоизображения позволяет обнаруживать, локализовать места возникновения ЭСР и оценивать их интенсивность. После анализа полученных данных бортовой системой управления при необходимости может приниматься решение о включении защитных механизмов (разворот солнечных панелей). Кроме того, полученные данные позволят прогнозировать изменение заряда поверхностей КА в зависимости от внешних условий, таких как солнечная активность.

Таким образом, камера наблюдения разрядов статического электричества может быть эффективным инструментом для получения данных о возникающих ЭСР на поверхности солнечной батареи КА, который поможет в значительной мере уменьшить деградацию компонентов РЭА и увеличить надежность энергетических систем космических аппаратов.

Список используемых источников

1. Цыцулин А. К., Манцветов А. А., Адамов Д. Ю., Зубакин И. А. Твердотельные телекамеры: накопление качества информации. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. С. 160–162.

2. Строгонов А. В., Горлов М. И. Воздействие электростатических разрядов на интегральные схемы // Компоненты и технологии, 2008. № 3. С. 188–192.

3. Сёмкин Н. Д., Балакин В. Л., Брагин В. В. Моделирование распределения электромагнитного поля при электростатическом разряде на поверхности космического аппарата // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева (национального исследовательского университета), 2012. С. 112–119.

4. Mitigating in-space charging effects – a guideline // NASA Technical handbook, 2022. PP. 29–31.

5. Скоробогатов П. К., Епифанцев К. А., Дятлов Н. С. Аддитивные эффекты в СБИС космического применения при воздействии серии импульсов напряжения и закон Аррениуса // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017, том 4, выпуск 1. С. 71–77.

CAMERA FOR MONITORING STATIC ELECTRICITY DISCHARGES ON THE SOLAR BATTERY OF A SPACECRAFT

Mantsvetov A., Belogubkin Y.
Television Research Institute

The article presents an overview of the methods and technologies used to monitor static electricity discharges on solar batteries of spacecraft. The causes of static electricity in outer space conditions, as well as its impact on the operation of space equipment, are considered. The development of a specialized camera designed to monitor discharges, including technical characteristics, is described. The work carried out emphasizes the importance of static electricity control to improve the reliability of spacecraft power systems. The materials of this article may be useful to specialists in the field of space technology, as well as researchers studying the problems of electrostatics in extreme conditions.

Key words: *monitoring camera, electrostatic discharges, internal electrification, single voltage pulses, space equipment*

УДК 621.397.13
ГРНТИ 47.51.31

ПАНОРАМНАЯ КАМЕРА ВНЕШНЕГО КРУГОВОГО ОБЗОРА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А. А. Манцветов, Д. Н. Бечин

Научно-исследовательский институт телевидения

Рассмотрен вариант реализации панорамной камеры внешнего кругового обзора космического аппарата. Приведены требования к параметрам и характеристикам панорамной камеры и ее оптической системы. Предложена возможная элементная база панорамной камеры.

панорамная камера внешнего кругового обзора, формат ультравысокой четкости UHD, программируемая логическая интегральная схема

В настоящее время требования к качеству изображения в космическом телевидении резко возросли. На повестке дня стоит переход к форматам ультравысокой четкости UHD с разрешением до $3840_H \times 2160_V$ и реализация систем кругового панорамного обзора на основе указанного формата.

Построение радиотехнической аппаратуры для эксплуатации в космическом пространстве связано с огромным количеством ограничений, в том числе таких, как масса, габаритные размеры, потребляемая мощность, температурный диапазон, надежность и бесперебойность работы в течении длительного срока активного существования, воздействие космической радиации, широкий диапазон освещенностей, механическое воздействие и т.д. [1, 2].

Предполагается, что для формирования панорамы будут использованы четыре идентичных канала. В этом случае оптические системы каналов должны иметь угол поля зрения по горизонтали не менее 90º [3]. Для реализации панорамной камеры кругового обзора необходимо выполнить следующие действия, которые указаны в виде блок схемы на рис. 1.

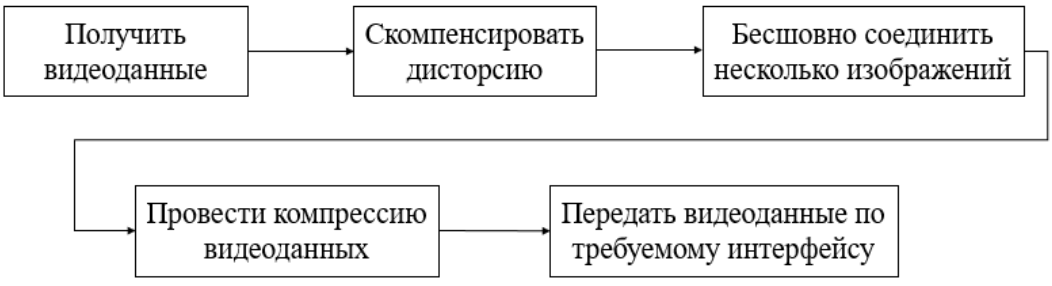


Рис. 1. Блок схема для реализации панорамной камеры кругового обзора

Влияние космического пространства ограничивает вычислительную мощность, а наличие четырех каналов с форматом ультравысокой четкости UHD с разрешением $3840_H \times 2160_V$ делает поток видеоданных очень большим.

В связи с вышеизложенным, предлагается рассмотреть возможность объединения указанных действий в единый алгоритм и оптимизировать его, что позволит уменьшить вычислительные затраты и реализовать панорамную камеру внешнего кругового обзора для эксплуатации в космическом пространстве.

В ходе рассмотрения всех ограничений, связанных с космическим пространством, и требованием угла поля зрения более 90° предлагается объектив (AZURE-0625ML12M) [4]. Выбранный объектив с фокусным расстоянием 6 мм имеет значение дисторсии меньше 0,23 %. При использовании сенсора с числом пикселей $3840_H \times 2160_V$ и размером пикселя 3,45×3,45 мкм^2 угол поля зрения по горизонтали составит 95°, что удовлетворяет требованиям к оптической системе. Внешний вид объектива AZURE-0625ML12M представлен на рис. 2.

Рис. 2. Внешний вид объектива AZURE-0625ML12M

Для получения изображения предлагается использовать четыре цветных КМОП-сенсора фирмы Sony IMX255LQR с разрешением до $4112_H \times 2176_V$ и частотой кадров 25 Гц, наличие избыточных пикселей позволит реализовать электронное сведение оптических осей каналов [5].

Обычно для каждого из действий (компенсация дисторсии, бесшовное соединение нескольких изображений, компрессия видеоданных и передача по требуемому интерфейсу) проектируются печатные платы с соответствующими микросхемами. Но, в связи с особенностями эксплуатации в космическом пространстве, указанные действия предлагается объединить и осуществить на основе программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) семейства PolarFire SoC от производителя микроэлектроники Microchip. Преимуществом

PolarFire SoC является то, что это малопотребляющая ПЛИС и пятиядерный RISC-V процессор на одном кристалле. Это первые ПЛИС со встроенным кластером RISC-V процессоров и подсистемой L2 памяти, совместимой с RT-приложениями и Linux. Новый чип имеет от 23 до 461 тысяч логических элементов и встроенный 64-битный процессор, работающий на тактовой частоте до 667 MHz (в стандартном исполнении) [6]. На рис. 3 представлены характеристики и исполнения микросхем линейки PolarFire SoC.

	PolarFire SoC				
	MPFS025T	**MPFS095T**	**MPFS160T**	**MPFS250T**	**MPFS460T**
Кол-во Лог. Элементов	23K	93K	161K	254K	461K
Кол-во Мат. блоков	68	292	498	784	1420
Блоков LSRAM (20Kbit)	84	308	520	812	1460
Блоков uSRAM (64x12)	204	876	1494	2352	4260
Всего RAM	1.8 Mbit	6.7 Mbit	11.3 Mbit	17.6Mbit	31.6 Mbit
uPROM	194 Kbit	387 Kbit	415 Kbit	470 Kbit	553 Kbit
Пользовательские PLL/DLL	По 8				
Линии 12Gbps трансиверов	4	4	8	16	20
PCIe Gen2 порты	2				
HSIO+GPIO	108	276	312	372	468
MSS IO	136				
DDR IO	16	32			
Тип (размер) корпуса	**MSS-IO/ HSIO / GPIO / XVCRs**				
FCSG325 (11x11, 11x14.5*)	102/32/48/2	102/32/48/2	102/32/48/2*		
FCSG536 (16x16)		136/60/108/4	136/60/108/4	136/60/108/4	
FCVG484 (19x19)	136/60/48/4	136/60/84/4	136/60/84/4	136/60/84/4	
FCVG784 (23x23)		136/144/168/8	136/144/168/8	136/144/180/8	
FCG1152 (35x35)				136/144/228/16	136/180/288/20

Рис. 3. Характеристики и исполнения микросхем линейки PolarFire SoC

В связи с наличием четырех каналов с форматом ультравысокой четкости UHD с разрешением $3840_H \times 2160_V$ поток видеоданных очень большой (Gbit) и благодаря комбинации из программируемой логики, разнообразной периферии, производительных процессоров и низкому потреблению, PolarFire SoC подходит для потоковой видеообработки, принимающих и преобразующих/обрабатывающих большое количество данных (в том числе, и посредством Ethernet). Также ПЛИС данного типа не подвержена тиристорному эффекту при попадании тяжелых заряженных частиц.

Благодаря такому ПЛИС семейства PolarFire возможно реализовать в едином исполнении на аппаратном уровне все четыре действия (компенсация дисторсии, бесшовное соединение нескольких изображений, компрессия видеоданных и передача по требуемому интерфейсу). Сокращенная блок схема представлена на рис. 4.

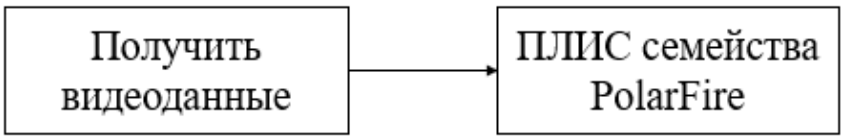


Рис. 4. Сокращенная блок схема

Предложенное техническое решение, содержащее вариант реализации панорамной камеры внешнего кругового обзора космического аппарата с возможной элементной базой, позволит оптимизировать массу, габаритные размеры, потребляемую мощность, энергопотребление при достижении высоких эксплуатационных характеристик.

Список используемых источников

1. Умбиталиев А. А, Цыцулин А. К., Левко Г. В. Теория и практика космического телевидения; под ред. А.А. Умбиталиева, А. К. Цыцулина. СПб.: НИИ телевидения, 2017. 368 с.

2. Манцветов А. А., Цыцулин А. К. Телекамеры на КМОП фотоприемниках // Вопросы радиоэлектроники. Сер. «Техника телевидения». 2006. № 2. С. 70–89.

3. Ибатуллин С. М., Морозов А. В., Терентьев К. Н. Экспериментальный макет камеры кругового обзора // Вопросы радиоэлектроники. Сер. «Техника телевидения». 2024. № 6. С. 8-11.

4. AZURE-0625ML12M. URL: https://www.azurephotonics.com/1200wxsxl (дата обращения 14.02.2025).

5. Sony IMX255LQR. URL: https://www.sony-semicon.com (дата обращения 14.02.2025).

6. PolarFire SoC - малопотребляющая ПЛИС и 5-ти ядерный RISC-V процессор на одном кристалле от Microchip. URL: https://news.eltech.spb.ru/microchip_polarfire_soc?ysclid=m71wdekapn883244544 (дата обращения 14.02.2025).

PANORAMIC CAMERA OF THE EXTERNAL CIRCULAR VIEW OF THE SPACECRAFT

Mantsvetov A., Bechin D.
Television Research Institute

A variant of the implementation of a panoramic camera of an external circular view of the spacecraft is considered. The requirements for the parameters and characteristics of the panoramic camera and its optical system are given. A possible element base for a panoramic camera is proposed.

Key words: *panoramic camera with external all-round view, ultra-high definition UHD format, programmable logic integrated circuit*

УДК 654.739
ГРНТИ 49.33.29

БУДУЩЕЕ ТЕЛЕПРИСУТСТВИЯ: КАК СЕТИ 6G ПРОИЗВЕДУТ РЕВОЛЮЦИЮ В ВИРТУАЛЬНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

А. С. Мутханна, З. А. Аль-Кереа, Х. А. Ясир

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В то время как 5G продвигается по всему миру, исследовательские центры начинают выходить за рамки этой технологии, и ожидается, что 6G превратятся в экологически чистые сети с отличным качеством обслуживания и энергоэффективностью. Для удовлетворения потребностей будущих приложений потребуется значительный прогресс в архитектуре мобильных сетей. Чтобы обеспечить доступ к сети в любое время и в любом месте, предполагается, что 6G добьется значительных успехов и интегрирует существующие наземные мобильные сети с появляющимися космическими, воздушными и подводными сетями. В этом исследовании представлен обширный обзор прогресса в области беспроводной связи, который привел к созданию сетей 6G. Этот обзор посвящен главным образом основным архитектурным изменениям, связанным с сетями 6G, которые характеризуются широким охватом 3D, повсеместным использованием искусственного интеллекта и расширенным стеком сетевых протоколов. Кроме того, рассматривается ряд технологий, таких как блокчейн, симбиотическое радио, видимый свет и терагерцовая связь, новые коммуникационные парадигмы и другие, которые могут помочь в создании социально сплоченных и устойчивых сетей. Наша цель – предоставить информативные рекомендации для предстоящих исследований в области «зеленых» технологий 6G.

6G, фреймворк, туманные вычисления, искусственный интеллект, SDN, IDA.

1. Введение

Телеприсутствие – это технологически искусственный опыт, который дает человеку возможность ощущать удаленную или виртуальную среду и взаимодействовать с ней так, как если бы он физически присутствовал в этом месте. Этот термин обычно ассоциируется с передовыми технологиями, такими как виртуальная реальность (VR), дополненная реальность (AR) и различные телекоммуникационные и информационные услуги [1]. Визуальные, звуковые и тактильные элементы системы телеприсутствия создают полное ощущение присутствия в удаленном месте или в виртуальном пространстве. Эта концепция играет ключевую роль в развитии современных технологий, направленных на улучшение взаимодействия и обмена информацией. Эта концепция особенно важна в контексте удаленной работы,

образования, медицинских консультаций и развлечений [1]. Основой 6G являются сервисы телеприсутствия, дающие пользователям возможность находиться «здесь и сейчас» в виртуальном мире. От виртуальных конференций и образовательных платформ до медицинских консультаций, сервисы телеприсутствия становятся ключевым элементом социальной и профессиональной жизни [2]. Основываясь на успехах предыдущих поколений, сервисы телеприсутствия в 6G предъявляют новые требования. Высокая скорость передачи данных, низкая задержка, исключительная надежность и совместимость с несколькими устройствами становятся основополагающими характеристиками [2].

Цель этого исследования – глубоко понять и определить ключевые требования и найти эффективные решения проблем, связанных с услугами телеприсутствия в контексте 6G. Наша цель – не только понять технологические особенности 6G, но и предложить конкретные стратегии и решения для оптимизации и улучшения услуг телеприсутствия [2].

2. Требования к услугам телеприсутствия в 6G

В условиях стремительного развития технологий в эре 6G, услуги телеприсутствия требуют особого внимания к своим уникальным характеристикам. Определение и классификация требований становится фундаментальным этапом для обеспечения высококачественного взаимодействия пользователей [2].

2. 1. Определение базовых требований

Скорость и пропускная способность: Одним из ведущих требований к услугам телеприсутствия в 6G является обеспечение высокой скорости передачи данных и значительной пропускной способности. В 6G скорость передачи данных может достигать 10 Тбит/с (терабит в секунду), а пропускная способность – более 100 ГГц (гигагерц). Эти цифры обеспечивают мгновенное скачивание контента высокого разрешения и плавное потоковое воспроизведение [2].

Надежность и устойчивость: Надежность становится ключевым аспектом, обеспечивающим стабильность связи при взаимодействии с услугами телеприсутствия. В 6G достигается высокий уровень надежности со значением отказоустойчивости более 99,999 %, что обеспечивает практически бесперебойную работу [2].

Минимальная задержка: для создания естественного впечатления телеприсутствия минимальная задержка в сетях 6G снижается до 1 миллисекунды. Это обеспечивает практически мгновенную реакцию на действия пользователя и синхронизацию мультимедийного контента [2].

Масштабируемость: услуги телеприсутствия в 6G обладают выдающейся масштабируемостью. Сети спроектированы для одновременного обслуживания миллиардов устройств, обеспечивая масштабируемость на уровне 1 миллиарда устройств на квадратный километр [2].

2.2 Классификация по важности

Критически важные:

– минимальная задержка (<1 мс);
– скорость передачи данных (10 Тбит/с).

Важные:

– пропускная способность (100 ГГц);
– надежность (более 99,999 %).

Поддерживающие:

– масштабируемость (1 млрд устройств/кв. км).

Эти характеристики являются ключевыми для обеспечения работы 6G, где высокая производительность, надежность и быстродействие играют решающую роль.

3. Проблемы в услугах телеприсутствия в 6G

3.1 Ограничения широкополосной передачи данных

Передача данных в услугах телеприсутствия в 6G сталкивается с ограничениями широкополосной передачи данных, что может оказать влияние на качество воспроизведения и взаимодействия пользователя [3].

Анализ ограничений: Ограничение широкополосной передачи данных связано с тем, что высококачественные данные, такие как видео в разрешении 4K и 8K, требуют значительной пропускной способности для плавного воспроизведения [3].

Пути решения: Развитие технологий сжатия данных такие как JPEG, PNG, H.265, FLAC и оптимизации передачи потокового контента может уменьшить требования к широкополосной передаче данных, обеспечивая при этом высокое качество воспроизведения [3].

3.2 Безопасность и конфиденциальность

Проблема безопасности: с увеличением объема данных, таких как биометрические показатели или медицинская информация, увеличивается риск несанкционированного доступа. В контексте информационной безопасности чувствительность данных определяется тем, какая угроза существует в случае утечки, утери или несанкционированного использования определенных информационных ресурсов. Например: персональная информация, медицинская информация, биометрические данные, коммерческая информация. Чем выше чувствительность данных, тем важнее обеспечивать их безопасность и принимать меры по защите от различных угроз. Это может включать в себя использование криптографии, аутентификацию, контроль доступа, аудит и другие методы информационной безопасности [4].

Проблема конфиденциальности: Пользователи сталкиваются с опасениями относительно хранения и обработки личных данных, таких как распознавание лиц и голоса.

Решения: разработка усовершенствованных методов шифрования, внедрение блокчейн-технологий для обеспечения прозрачности и контроля над доступом к данным [4].

3.3 Масштабируемость и управление ресурсами

Проблемы масштабируемости и управления ресурсами становятся актуальными, поскольку услуги телеприсутствия должны обслуживать миллионы одновременных пользователей [5].

Проблема масштабируемости: С увеличением числа пользователей возникают вызовы в обеспечении стабильности и эффективности сети.

Проблема управления ресурсами: Необходимость эффективного распределения ресурсов, таких как пропускная способность и вычислительная мощность, становится ключевым вопросом [6].

Решения: Использование технологий виртуализации сетей и облачных вычислений для оптимального управления ресурсами, а также разработка алгоритмов динамического масштабирования [6].

3.4 Взаимодействие с разнообразными устройствами и платформами

С ростом разнообразия устройств и платформ услуги телеприсутствия должны обеспечивать гармоничное взаимодействие.

Проблема взаимодействия: Различные устройства имеют разные технические характеристики, что может вызвать несовместимость и негативно сказаться на пользовательском опыте [7].

Решение: Стандартизация протоколов взаимодействия, разработка универсальных интерфейсов и адаптация технологий к разным устройствам и платформам.

Эффективное преодоление этих проблем потребует тесного взаимодействия инженеров, разработчиков и специалистов по безопасности для создания надежных, масштабируемых и безопасных услуг телеприсутствия в 6G [8]. Эти связи представляют общую картину взаимодействия между ключевыми компонентами на рис. 1.

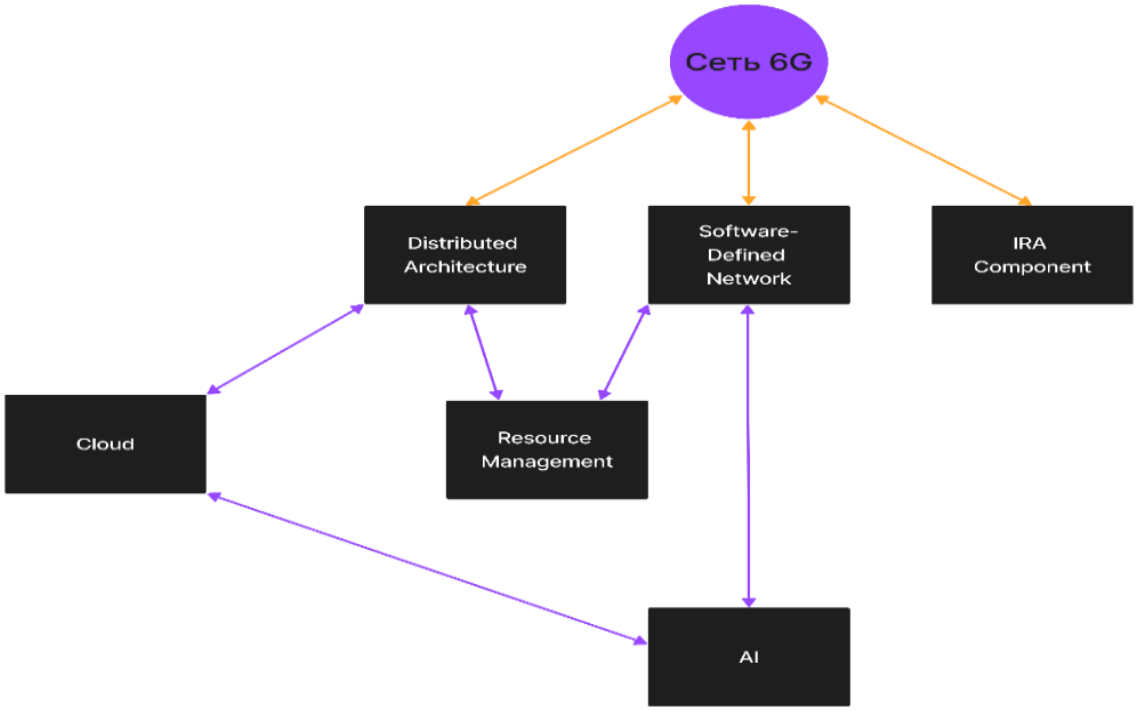


Рис. 1. Общая схема, объединяющая ключевые компоненты и концепции

4. Заключение

Развитие сетей 6G несет с собой надежду на революцию в области телеприсутствия с беспрецедентной возможностью расширения, надежности и скорости. В этой статье подчеркивается, что при разработке прозрачных систем телеприсутствия необходимо будет учитывать экстремальные требования и вызовы, такие как сверхнизкая задержка, высокая скорость передачи информации, безопасность и совместимость. С развитием технологии

6G это проложит путь к новым виртуальным возможностям в медицинской и образовательной отраслях. 6G фактически переопределит возможности подключения и сделает телеприсутствие захватывающим, доступным и изменяющим жизнь граждан по всему миру.

Список используемых источников

1. Mitchell M. Artificial Intelligence. A Guide for Thinking People. Pelican, 2020. PP. 45–63.

2. Steputin A. N., Nikolaev A. D. Mobile communications on the way to 6G. Infra-Engineering, 2020. PP. 92–110.

3. Arnaldi B., Guitton P., Moreau G. Virtual reality and augmented reality: myths and reality. Wiley-ISTE, 2018. PP. 25–42.

4. Katz E. Telepresence and bioart: networking people, rabbits and robots. – University of Michigan Press, 2005. PP. 55–78.

5. David K., Berndt H. 6G vision and requirements: Is there any need for beyond 5G // IEEE Veh. Technol. Mag, 2018. Vol. 13. № 3. PP. 72–80.

6. Gupta A., Jha E. R. K. A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies // IEEE Access, 2015. Vol. 3. PP. 1206–1232.

7. Sharma P. Evolution of mobile wireless communication networks-1G to 5G as well as future prospective of next generation communication network // Int. J. Comput. Sci. Mobile Comput, 2013. Vol. 2. № 8. PP. 47–53.

8. Gawas A. U. An overview on evolution of mobile wireless communication networks: 1G-6G // Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun, 2015. Vol. 3. № 5. PP. 3130–3133.

THE FUTURE OF TELEPRESENCE*:* HOW 6G NETWORKS WILL REVOLUTIONIZE VIRTUAL INTERACTION

Muthanna A., Al-Kerea Z., Yasir H.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

While 5G is being pushed globally, research centers are starting to go beyond the technology, and 6G is expected to develop into green networks with excellent QoS and energy efficiency. Future applications will need mobile network architecture to progress significantly in order to meet their demands. In order to provide network access whenever, wherever, we envision 6G making significant strides and integrating the current terrestrial mobile networks with emerging space, aerial, and underwater networks. An extensive review of wireless progress leading up to 6G networks is given by this research. This review focuses primarily on the major architectural changes related to 6G networks, which are characterized by widespread 3D coverage, ubiquitous AI, and an enhanced network protocol stack. Our goal is to provide enlightening guidance for upcoming 6G research.

Key words: *6G, framework, edge computing, fog computing, AI, SDN and IDA*

УДК 654.739
ГРНТИ 49.33.29

РЕАЛИЗАЦИЯ ПЛАТФОРМЫ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ СЕТЕЙ 6G: БЕЗОПАСНОСТЬ, AI И ПРИЛОЖЕНИЯ

А. С. Мутханна, З. А. Аль-Кереа, Х. А. Ясир

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Статья повествует о том, какой должна быть платформа граничных вычислений 6G: с поддержкой искусственного интеллекта, кибербезопасности, и с использованием GPU/TPU, терагерцовых частот, динамической миграции сервисов. О проекте двухэтажной аутентификации и библиотеке машинного обучения для эффективного использования ресурсов. Рассказ о внедрении платформы в медицине, производстве и операторах связи. Результаты демонстрируют, что предложенная платформа способна обеспечить задержку менее 1 мс, высокую пропускную способность и энергоэффективность.

граничные вычисления, FOG, IoT, микросервисная архитектура, обработка данных

1. Введение

Интернет 6-го поколения (6G) ставит перед разработчиками невиданные ранее задачи: поддержка голографической связи, телеприсутствия с полным виртуальным погружением и Интернета вещей с крайне жесткими требованиями к задержкам, пропускной способности и энергопотреблению [1]. Архитектура краевых вычислений, в отличие от традиционных облачных решений, требует обработки данных непосредственно на краю сети с минимальными задержками и перерасходом пропускной способности центральных каналов [1-2]. Для реализации такой платформы требуется интеграция передовых технологий, включая ускорение вычислений с помощью графических ускорителей, искусственный интеллект, квантовоустойчивые алгоритмы шифрования. Например, для передачи 3D голограмм в реальном времени требуется пропускная способность более 1 Тбит/с, которую возможно обеспечить исключительно лишь с терагерцовыми частотами и оптимизированными краевыми устройствами [3]. Проблемы безопасности при этом приобретают особую остроту: утечки информации, кибератаки на инфраструктуру 6G могут привести к трагическим последствиям в таких отраслях, как телемедицина или умное управление городами [3]. В данной публикации рассматриваются архитектурные, технологические и экономи-

ческие аспекты разработки платформы, способной удовлетворить вышеперечисленные требования, а также приводятся примеры ее практической реализации [3].

2. Архитектурные требования к платформе

– Краевые узлы:
  - Аппаратное обеспечение: GPU (NVIDIA A100) и TPU (Google Coral) для обработки данных [4].
  - Локальные хранилища: NVMe SSD для минимизации задержки (до 10 мкс) [4].
– Сетевые технологии:
  - Терагерцовые частоты: диапазон 0.1–10 ТГц для передачи данных со скоростью 1 Тбит/с [5].
  - Динамическая миграция: перемещение задач между облаком и краем с использованием алгоритмов балансировки (например, Round-Robin) [5].

3. Интеграция искусственного интеллекта и машинного обучения

– Локальный анализ [6]:
  - Прогнозирование нагрузок: регрессионные модели (XGBoost) для предсказания трафика.
  - Оптимизация ресурсов: алгоритмы Q-Learning для распределения задач между узлами.
– Обучение на краю [6]:
  - Федерированное обучение: обучение моделей на локальных данных без их передачи в облако. Пример: анализ медицинских данных с соблюдением GDPR.

4. Система безопасности и управление доступом

– Шифрование:
  - AES-256: для данных в хранилищах.
  - Квантово-устойчивые алгоритмы: NTRUEncrypt для защиты от будущих квантовых атак [7].
– Многоуровневая аутентификация:
  - Биометрия: распознавание лиц (Face ID) и отпечатков пальцев [8].
  - Цифровые сертификаты: X.509 для устройств и пользователей [8].
– AI-мониторинг:

- Обнаружение аномалий: использование LSTM-сетей для анализа сетевого трафика [9].
- Автоматическое блокирование: системы на основе правил (Snort) и ML (TensorFlow) [9].

5. Приложения и экономическая эффективность

– Телеприсутствие:
  - Видеоконференции с задержкой <1 мс (например, платформа Cisco Webex Edge) [10].
  - Голографические совещания: Microsoft Mesh на базе Azure Edge Zones [10].
– Голографическая связь:
  - Передача 3D-голограмм через терагерцовые каналы. Пример: проект HoloPort от Proto [11].
– Энергосбережение:
  - Снижение нагрузки на ЦОДы: Локальная обработка сокращает энергопотребление на 40 % (исследование IEEE 2023) [11].

6. Заключение

Платформа граничных вычислений сети 6G объединяет высокопроизводительные краевые узлы с GPU/TPU, терагерцовые каналы связи и интеллектуальные алгоритмы управления, обеспечивая задержку менее 1 мс и пропускную способность до 1 Тбит/с. Внедренные многоуровневая аутентификация и квантово-устойчивое шифрование обеспечивают эффективную защиту данных от растущей киберугрозы, а интеграция машинного обучения позволяет оптимизировать балансировку нагрузки и энергопотребление. Примеры успешного внедрения в сфере медицины, промышленности и образования демонстрируют, что такие технологии не только улучшают качество обслуживания, но и снижают обслуживающие расходы за счет локальной обработки большей части данных. Более того, последующее усовершенствование необходимо направить на стандартизацию и дальнейшее понижения стоимости платформы путем оптимизации аппаратного обеспечения, что откроет великие возможности для масштабирования предлагаемой платформы для ее глобального внедрения. Таким образом, наш метод обозначает новый переход на уровень комфорта цифровой трансформации общества в сложном, цифровом мире 6G.

Список используемых источников

1. Guo F., Yu F. R., Zhang H., Li X., Ji H., Leung V. C. M. Enabling Massive IoT Toward 6G: A Comprehensive Survey // IEEE Internet of Things Journal, 2021. Vol. 8. Iss. 15. PP. 11891–11915. DOI: 10.1109/JIOT.2021.3063686.

2. Laghari A. A., Wu K., Laghari R. A., Ali M., Khan A. A. A Review and State of Art of Internet of Things (IoT) // Archives of Computational Methods in Engineering, 2022. Vol. 29. Iss. 3. PP. 1395–1413. DOI: 10.1007/s11831-021-09622-6.

3. Ateya A. A., Algarni A. D., Hamdi M., Koucheryavy A., Soliman N. F. Enabling Heterogeneous IoT Networks over 5G Networks with Ultra-Dense Deployment–Using MEC/SDN // Electronics, 2021. Vol. 10. Iss. 8. PP. 910. DOI: 10.3390/electronics10080910.

4. Carvalho G., Cabral B., Pereira V., Bernardino J. Edge computing: current trends, research challenges and future directions // Computing, 2021. Vol. 103. PP. 993–1023. DOI: 10.1007/s00607-020-00896-5.

5. Haibeh L. A., Yagoub M. C. E., Jarray A. A Survey on Mobile Edge Computing Infrastructure: Design, Resource Management, and Optimization Approaches // IEEE Access, 2022. Vol. 10. PP. 27591–27610. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3152787.

6. Cruz P., Achir N., Viana A. C. On the Edge of the Deployment: A Survey on Multi-access Edge Computing // ACM Computing Surveys, 2022. Vol. 55. Iss. 5. PP. 1–34. DOI: 10.1145/3529758.

7. Kong L., Tan J., Huang J., Chen G., Wang S., Jin X., et al. Edge-computing-driven Internet of Things: A survey // ACM Computing Surveys, 2022. Vol. 55. Iss. 8. PP. 1–41. DOI: 10.1145/3555308.

8. Amarasingam N., Salgadoe A. S. A., Powell K., Gonzalez L. F., Natarajan S. A review of UAV platforms, sensors, and applications for monitoring of sugarcane crops // Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2022. Vol. 26. PP. 100712. DOI: 10.1016/j.rsase.2022.100712.

9. Liu Y., Dai H.-N., Wang Q., Shukla M. K., Imran M. Unmanned aerial vehicle for internet of everything: Opportunities and challenges // Computer Communications, 2020. Vol. 155. PP. 66–83. DOI: 10.1016/j.comcom.2020.03.017.

10. Pakrooh R., Bohlooli A. A Survey on Unmanned Aerial Vehicles-Assisted Internet of Things: A Service-Oriented Classification // Wireless Personal Communications, 2021. Vol. 119. Iss. 2. PP. 1541–1575. DOI: 10.1007/s11277-021-08294-6.

11. Zhang S., Liu W., Ansari N. Joint Wireless Charging and Data Collection for UAV-Enabled Internet of Things Network // IEEE Internet of Things Journal, 2022. Vol. 9. Iss. 23. PP. 23852–23859. DOI: 10.1109/JIOT.2022.3190813.

MUTHANNA A. EDGE COMPUTING PLATFORM IMPLEMENTATION FOR 6G NETWORKS: SECURITY, AI AND APPLICATIONS

Muthanna A., Al-Kerea Z., Yasir H.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

An article about what a 6G edge computing platform should be: with artificial intelligence support, cybersecurity, real-time control and using GPU/TPU, terahertz frequencies, dynamic migration of services. About the two-story authentication project and the machine learning library for efficient use of resources. A story about the implementation of the platform in medicine, manufacturing and telecom operators. The results demonstrate that the proposed platform is capable of providing a delay of less than 1 ms, high throughput and energy efficiency.
Key words: *Edge computing, FOG, IT, Micro service architecture, Data processing*

УДК 654.739
ГРНТИ 49.33.29

СОВРЕМЕННЫЕ ПЛАТФОРМЫ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ СЕТЕЙ 6G: АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР И ТЕХНОЛОГИЙ

А. С. Мутханна, З. А. Аль-Кереа, Х. А. Ясир

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Эта статья представляет основные принципы периферийных вычислений и их влияние на развитие сетей 6G. Она также оценивает способ, с помощью которого высокопроизводительная серверная инфраструктура с центральными процессорами и графические процессоры GPU в периферийных ЦОД позволяют повысить производительность сети. Архитектурный стиль микросервисов является гибким, а Kubernetes и инструменты контейнеризаций делают его масштабируемым. Поддержка сверхширокополосных каналов гарантирует высокую пропускную способность и низкую задержку. Кроме того, фреймворки для безопасности и мониторинга, расширяемые с помощью AI, усиливают общий показатель надежности. В статье описано синергетическое воздействие данных технологических компонентов, которое помогает формировать следующее поколение сервисов телеприсутствия в 6G.

граничные вычисления, телеприсутствия, AR, VR, искусственный интеллект, латентность

1. Введение

В этой статье рассматриваются основные принципы периферийных вычислений и их критическое значение для развития сетей 6G. В ней подробно рассматривается, как серверные устройства, оснащенные высокопроизводительными ЦП и специализированными ГП, размещенные в периферийных центрах обработки данных, могут повысить эффективность сети [1]. Архитектура микросервисов, контейнеризация и инструменты оркестровки, такие как Kubernetes, обеспечивают масштабируемость и адаптивность. Использование сверхвысокоскоростных соединений обеспечивает высокую пропускную способность и минимальную задержку. Кроме того, платформы управления на базе ИИ для мониторинга активов и систем безопасности способствуют надежности. В статье показано, что эти технологии в совокупности поддерживают расширенную услугу телеприсутствия в 6G [2].

2. Обзор существующих платформ граничных вычислений

2.1. Azure IoT Edge (Microsoft)

– Модульность: использование контейнеров Docker для развертывания приложений. Поддержка Kubernetes для оркестрации микросервисов [3].
– Интеграция с облаком: совместимость с Azure IoT Hub, Machine Learning и Cognitive Services. Пример: обработка данных с промышленных датчиков в реальном времени [3].
– Безопасность: шифрование данных (TLS 1.3), автоматические обновления и изоляция контейнеров [3].
– Недостатки: высокая стоимость лицензий Azure при масштабировании до 10 000 устройств [3].

2.2. AWS IoT Greengrass

– Локальная обработка: Выполнение функций AWS Lambda на краевых устройствах. Пример: анализ видео с камер наблюдения без передачи в облако [4].
– Машинное обучение: Развертывание моделей SageMaker на границе сети [4].
– Ограничения: Сложность интеграции с Google Cloud или Azure из-за проприетарных API [4].

2.3. Google Cloud IoT Edge

– TensorFlow Lite: Поддержка ML-моделей для анализа данных в реальном времени. Пример: прогнозирование отказов оборудования на заводах [5].
– Управление устройствами: Централизованная конфигурация через Google Cloud Console [5].
– Минусы: Ограниченная поддержка устройств вне экосистемы Google (например, промышленных контроллеров Siemens) [5].

2.4. IBM Edge Application Manager

– Автономное управление: развертывание конвейеризированных приложений на тысячах узлов в. Пример: управление умными сетями электроснабжения [6].
– Интеграция с Watson: использование ИИ для аналитики энергопотребления [6].

– Сложности: требует глубоких знаний Kubernetes и Docker для настройки [6].

2.5. NVIDIA EGX Platform

– GPU-ускорение: Обработка задач ИИ и аналитики на графических процессорах (NVIDIA A100). Пример: рендеринг VR-контента для медицинских симуляторов [7].
– Производительность: Поддержка AR/VR с разрешением 8K и частотой 120 Гц [8].
– Минусы: Стоимость сервера EGX стартует от $50 000, энергопотребление – до 500 Вт на узел [8].

Сравнение платформ представлено в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение платформ

Платформа	Задержка (мс)	Пропускная способность	Стоимость	Поддержка AI
Azure IoT Edge	2–5	100 Гбит/с	Высокая	Да
AWS Greengrass	3–7	50 Гбит/с	Средняя	Да
Google Cloud IoT	1–4	80 Гбит/с	Средняя	Да
IBM Edge Manager	5–10	30 Гбит/с	Низкая	Частично
NVIDIA EGX	<1	1 Тбит/с	Очень высокая	Да

3. Критерии выбора платформ для сетей 6G

– Низкая латентность: менее 1 мс для AR/VR и телеприсутствия. Например, хирургические роботы требуют задержки ≤ 1 мс [9].
– Пропускная способность: Свыше 1 Тбит/с для передачи голографических данных (например, 3D-голограмм в формате 16K) [9].
– Безопасность [10]:
  • Шифрование: AES-256 для данных в покое и TLS 1.3 для передачи.
  • Аутентификация: Многофакторная (MFA) и цифровые сертификаты.
– Сравнение экосистем [10]:
  • Azure и AWS: подходят для корпоративных решений с интеграцией в облако.
  • NVIDIA EGX: Оптимальна для задач с GPU-ускорением (например, метавселенные).

4. Роль микросервисной архитектуры и контейнеризации

– Docker и Kubernetes [11]:
  - Оркестрация ресурсов: Автоматическое масштабирование под нагрузку. Пример: Netflix использует Kubernetes для обработки 1 млн запросов/сек.
  - Изоляция сервисов: Каждый микросервис работает в отдельном контейнере, что снижает риск сбоев.
– Примеры реализации [11]:
  - Azure IoT Edge: использует Helm для управления чартами Kubernetes.
  - AWS Greengrass: применяет Lambda-функции для обработки данных на краю.

5. Заключение

Для сетей связи 6G могут эффективно применяться современные методы, основанные на граничных вычислениях, позволяющие решать определенные задачи. Главные трудности, связанные с применением, обусловлены зависимостью от массовых облачных сервисов, высокой стоимостью дополнительных функций, которые требуют использования дополнительного графического процессора, а также сложностью адми-нистрирования и управления кластера.

В области телекоммуникаций, дополненной и виртуальной реальности, а также голографической коммуникации необходимы технологии с минимальной задержкой и стабильным потоком данных. В то же время, в контексте индустриализации интернета вещей (IIoT) особое значение приобретают экономически обоснованные решения, способные обеспе-чить устойчивое развитие промышленных экосистем.

Выполнение задач с использованием микросервисов и инкапсуля-ции, требует тщательного планирования. Достичь успехов в реализации современных платформ граничных вычислений для сетей 6G возможно. Для этого необходимо разработать интеллектуальные, экономичные и адаптируемы инструменты с использованием возможностей искусственного интеллекта.

Список используемых источников

1. Mitchell M. Artificial Intelligence. A Guide for Thinking People. Pelican, 2020. PP. 45–63.

2. Steputin A. N., Nikolaev A. D. Mobile communications on the way to 6G. – Infra-Engineering, 2020. PP. 92–110.

3. Arnaldi B., Guitton P., Moreau G. Virtual reality and augmented reality: myths and reality. Wiley-ISTE, 2018. PP. 25–42.

4. Katz E. Telepresence and bioart: networking people, rabbits and robots. – University of Michigan Press, 2005. PP. 55–78

5. David K., Berndt H. 6G vision and requirements: Is there any need for beyond 5G? // IEEE Veh. Technol. Mag, 2018. Vol. 13, № 3. PP. 72–80.

6. Gupta A., Jha E. R. K. A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies // IEEE Access, 2015. Vol. 3.PP. 1206–1232.

7. Sharma P. Evolution of mobile wireless communication networks-1G to 5G as well as future prospective of next generation communication network // Int. J. Comput. Sci. Mobile Comput, 2013. Vol. 2, № 8. PP. 47–53.

8. Gawas A. U. An overview on evolution of mobile wireless communication networks: 1G-6G // Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun, 2015. Vol. 3, № 5. PP. 3130–3133.

9. Parikh J., Basu A. LTE advanced: The 4G mobile broadband technology // Int. J. Comput. Appl, 2011. Vol. 13, № 5. PP. 17–21.

10. Wu J., Dong M., Ota K., Li J., Yang W., Wang M. Fog-computing enabled cognitive network function virtualization for an information centric future Internet // IEEE Commun. Mag, 2019. Vol. 57, № 7. PP. 48–54.

11. Дунайцев Р. А., Бородин А. С., Кучерявый А. Е. Интегрированная сеть космос-воздух-земля-море как основа сетей связи шестого поколения // Электросвязь, 2022. № 10. С. 5–8. DOI: 10.34832/ELSV2022.35.10.001.

MODERN EDGE COMPUTING PLATFORMS FOR 6G NETWORKS: ARCHITECTURE AND TECHNOLOGY ANALYSIS

Muthanna A., Al-Kerea Z., Yasir H.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article presents the basic principles of peripheral computing and their impact on the development of 6G networks. She also evaluates the way in which high-performance server infrastructure with central processing units and GPU graphics processors in peripheral data centers can improve network performance. The architectural style of microservices is flexible, and Kubernetes and containerization tools make it scalable. Ultra-broadband channel support guarantees high bandwidth and low latency. In addition, AI-extensible security and monitoring frameworks enhance overall reliability. The article describes the synergistic impact of these technological components, which helps shape the next generation of telepresence services in 6G.

Key words: *Edge computing, Telepresence, AR, VR, Artificial intelligence and Latency*

УДК 004.7
ГРНТИ 49.33.29

МИГРАЦИЯ СЕРВИСОВ В СЕТЯХ IOT С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DOCKER И CI/CD

А. И. Парамонов, И. И. Комаров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматриваются ключевые аспекты миграции сервисов в сети Интернета вещей (IoT). Обсуждаются основные концепции и архитектурные подходы к миграции, а также факторы, влияющие на выбор стратегии миграции. Особое внимание уделяется использованию контейнеризации с помощью Docker и интеграции процессов CI/CD с Jenkins для автоматизации миграции сервисов. Анализируются примеры успешной реализации миграции в IoT, что подчеркивает важность адаптивности и гибкости, а также их устойчивости в современных системах.

миграция сервисов, Docker, Jenkins, интернет вещей

Интернет вещей (IoT) представляет собой сеть взаимосвязанных устройств, которые обмениваются данными и взаимодействуют друг с другом [1]. Миграция сервисов в IoT становится важным аспектом для обеспечения гибкости и адаптивности систем. Эффективная миграция позволяет оптимизировать ресурсы, улучшить производительность и снизить затраты.

Миграция сервисов в Интернете вещей (IoT) – это процесс перемещения приложений и их компонентов между различными средами, такими как облачные платформы и локальные серверы. Этот процесс важен для оптимизации работы систем и повышения их гибкости.

Миграция сервисов включает в себя перемещение приложений, а также их адаптацию к новым условиям. Это может быть одноразовым процессом или частью регулярного обновления систем.

Классификация миграции

Миграцию можно классифицировать по нескольким критериям:

– по направлению: «вверх»: перемещение на более мощные платформы и «вниз»: перемещение на менее мощные платформы;
– по автоматизации: «ручная»: требует больше времени и усилий. «автоматизированная»: использование инструментов для упрощения процесса.

Преимущества миграции включают:

– оптимизация ресурсов;
– снижение задержек;
– снижение затрат: использование облачных ресурсов;
– гибкость: быстрая адаптация к изменениям.

К вызовам миграции относятся:
– проблемы совместимости: конфликты между версиями ПО;
– безопасность данных: защита информации во время миграции.

Архитектура миграции сервисов включает в себя несколько компонентов, которые позволяют перемещать приложения.

Облачные сервера

Подразумевается большой массив серверов с большими вычислительными мощностями, которые позволяют обрабатывать огромное количество трафика.

Сервера граничных вычислений обеспечивают хоть и меньшую производительность, но существенно уменьшают задержку. Они могут использоваться для критически важных приложений, где важна скорость обработки данных [2].

Устройства IoT являются оконечными точками, которые могут выполнять мигрируемые сервисы.

Docker – это инструмент контейнеризации, который позволяет упаковывать приложения и их зависимости в контейнеры [3]. Это значительно упрощает процесс миграции сервисов в сети Интернета вещей (IoT).

Благодаря использованию контейнеров приложение изолированно от внешней системы, что минимизирует конфликты между различными сервисами. Каждый контейнер работает независимо.

Благодаря использованию контейнеров можно быстро развертывать и обновлять необходимые приложения.

Можно использовать контейнеризацию для разных сервисов. Например, при использовании такой системы для умного дома, можно создать контейнеры для управления освещением, климат-контролем и т.д.

CI/CD (непрерывная интеграция / непрерывное(ая) развертывание (доставка)) – это подход, который позволяет автоматизировать разработку, тестирование, а также развертывание различных приложений. Jenkins – один из популярнейших решений CI/CD [4].

С помощью Jenkins можно настроить специальные выполняемые скрипты, называемые пайплайнами. Они могут автоматически разворачивать сервисы на целевых устройствах. Это значительно ускоряет процесс

миграции, так как исключает необходимость ручного вмешательства. Соответственно с помощью Jenkins можно автоматизировать и работу миграции и обновления приложений, которые были собраны в контейнеры

При планировании и реализации миграции сервисов в сети Интернета вещей (IoT) необходимо учитывать несколько ключевых факторов, которые могут повлиять на успех этого процесса.

Технические аспекты включают совместимость сервисов и устройств, а также архитектуру приложений. Важно убедиться, что мигрируемые сервисы могут корректно работать в новой среде. Это сильно упрощается использованием Docker.

Управление изменениями

Благодаря использованию Jenkins можно поставить этот процесс на конвейер. Обновление может проводить даже не сильно разбирающийся человек, так как он будет использовать заготовленный пайплайн.

Рассмотрим несколько примеров успешной миграции сервисов в сети Интернета вещей (IoT), которые иллюстрируют, как использование технологий, таких как Docker и Jenkins, может значительно улучшить процесс миграции и повысить эффективность систем.

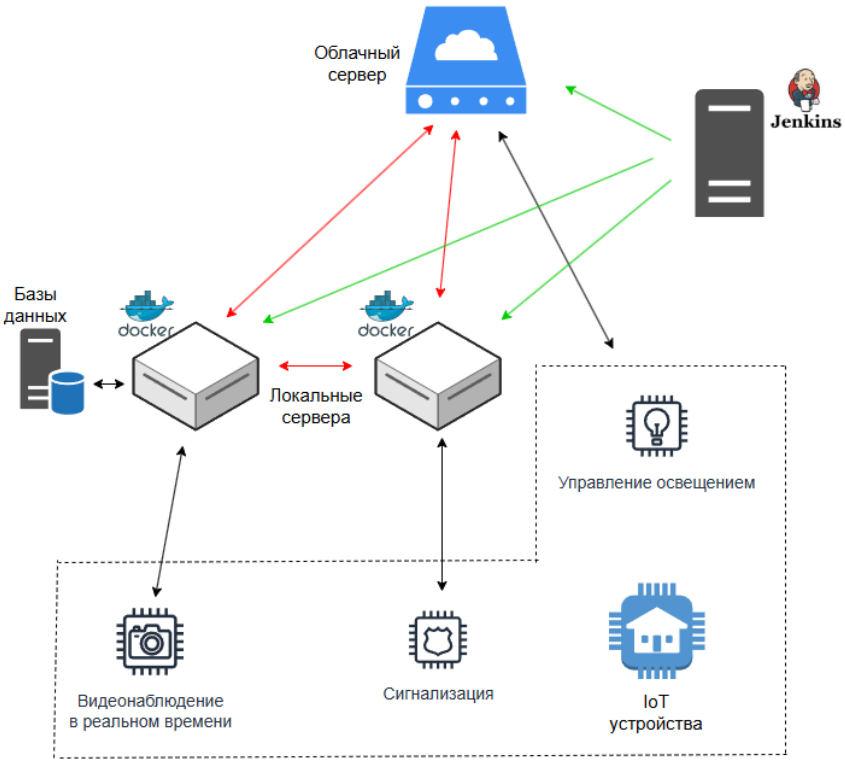


Рис. 1. Топология для умного дома

Кейс 1: Умный дом

Первым примером может быть ранее предложенный вариант умного дома (рис 1). Благодаря миграции мы можем перенести некоторые наиболее требовательные к задержкам сервисы на локальные сервера граничных вычислений. На таких серверах отклик будет приходить быстрее. Также миграция в таком сценарии может быть необходима для распределения нагрузки между серверами, так как предполагается, что они обладают не очень большими мощностями. Используя Docker, команда разработчиков упаковывала микросервисы системы сигнализации, система видеонаблюдения в реальном времени, умные замки и другие, требовательные к задержкам. С помощью Jenkins была настроена автоматизация тестирования и развертывания.

Кейс 2: Умное производство

В производственной компании была задача оптимизировать управление оборудованием и мониторинг процессов. Для этого было решено мигрировать существующие сервисы на более мощные серверы с использованием контейнеризации. Команда использовала Docker для создания контейнеров с приложениями, а Jenkins для автоматизации процессов CI/CD. Это позволило быстро тестировать и разворачивать обновления, что значительно повысило производительность и снизило время простоя оборудования.

Миграция сервисов в сети Интернета вещей (IoT) является ключевым аспектом для обеспечения гибкости, производительности и устойчивости современных систем. В ходе статьи были рассмотрены основные концепции миграции, архитектура миграции сервисов, а также роль технологий, таких как Docker и Jenkins, в упрощении и автоматизации этого процесса. Использование контейнеризации позволяет разработчикам создавать переносимые и изолированные приложения, что значительно упрощает развертывание и обновление сервисов. Интеграция CI/CD с Jenkins обеспечивает автоматизацию тестирования и развертывания, что сокращает время на миграцию и минимизирует риски. Несмотря на преимущества, миграция также сопряжена с вызовами, такими как проблемы совместимости, безопасность данных и управление изменениями. Успешные примеры миграции в различных областях, таких как умные дома, и умное производство, демонстрируют, как правильный подход к миграции может привести к значительным улучшениям в производительности и эффективности систем. В будущем важно

продолжать исследовать новые подходы и технологии для оптимизации миграции в IoT, а также учитывать возникающие вызовы и риски. Это позволит создать более адаптивные и устойчивые системы, способные эффективно справляться с изменяющимися требованиями и условиями.

Список используемых источников

1. Пахлеубухина В. Г. Что такое IoT? / В. Г. Пахлебухина, С. В. Пальмов // Форум молодых ученых, 2018. С. 1–4.

2. Рубашенков А. М. Интернет вещей / А. М. Рубашенков, А. В. Бобров // Достижения науки и образования, 2018. С. 1–3.

3. Бондаренко А. С. Управление контейнерами при построении распределенных систем с микросервисной архитектурой / А. С. Бондаренко А. С., К. С. Зайцев / International Journal of Open Information Technologies, 2023. С. 1–3.

4. Armenise V. Continuous delivery with Jenkins: Jenkins solutions to implement continuous delivery / V. Armenise 2015 IEEE/ACM 3rd International Workshop on Release Engineering (RELENG), 2015. PP. 1–4.

MIGRATION OF SERVICES IN IOT NETWORKS USING DOCKER AND CI/CD

Paramonov A., Komarov I.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article discusses the key aspects of service migration in the Internet of Things (IoT) network. The main concepts and architectural approaches to migration are discussed, as well as the factors influencing the choice of migration strategy. Special attention is paid to the use of containerization using Docker and the integration of CI/CD processes with Jenkins to automate service migration. The examples of successful implementation of migration to the IoT are analyzed, which emphasizes the importance of adaptability and flexibility, as well as their sustainability in modern systems.

Key words: *service migration, caching, Docker, Jenkins, Internet of Things*

УДК 621.39
ГРНТИ 49.33.29

МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ СЕТИ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

А. И. Парамонов, С. Е. Крылов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Статья посвящена вопросам организации и обеспечения надежности беспроводных сетей доступа с высокой плотностью пользователей. Рассматриваются ключевые параметры, влияющие на стабильность сети, такие как пропускная способность, качество соединения, нагрузка и внешние помехи. Предложены современные технологии и методы, включая использование бесшовного роуминга, балансировки нагрузки и функцию Band Steering. Проведено имитационное моделирование с применением оборудования Aruba AP-105 и AP-135, что позволило оценить радиочастотное покрытие и производительность сетей в различных условиях. Выделены преимущества и ограничения каждого подхода.

беспроводные сети, моделирование, покрытие, резервирование

1. Введение

Сети беспроводного доступа с момента своего создания имели высокую значимость при организации выхода в локальную и глобальную сети [1] для портативных, носимых и мобильных устройств, поскольку сама концепция таких устройств подразумевала использование беспроводных технологий, таких как Wi-Fi и мобильная сеть различных поколений. Одной из ключевых задач беспроводных сетей всегда оставалось обеспечение большого количества пользователей с гарантированным качеством обслуживания. При постановке подобной задачи, подход организации беспроводной сети кардинально изменяется. В отличие от стандартного подхода обеспечения сетью небольшого количества пользователей с акцентом на скорость передачи данных, в беспроводных сетях доступа с высокой плотностью пользователей делается акцент на саму возможность обслуживания сетью большого количества клиентов и обеспечение минимально допустимого уровня производительности сети при высоких показателях качества обслуживания (помимо скорости доступа). Для успешного решения данной задачи применяются различные методы и оборудование [2], позволяющее использовать сеть одновременно множеству клиентов. Немаловажным

фактором также является и надежность данной сети, другими словами качественное и функциональное обеспечение бесперебойной работы сети беспроводного доступа при высокой плотности пользователей. Рассмотрим основные применяемые технологии для решения поставленной задачи.

2. Основные факторы надежности сети беспроводного доступа с высокой плотностью пользователей

1. Пропускная способность сети:
– Полоса пропускания.
– Количество доступных точек доступа (AP) и их распределение.
2. Качество соединения:
– Уровень сигнала (RSSI).
– Коэффициент шума (SNR).
– Модуляция и кодирование (MCS).
3. Уровень использования:
– Число одновременно подключенных устройств.
– Тип трафика (видео, голос, данные).
4. Внешние помехи:
– Радиочастотные помехи от других устройств и соседних точек доступа.
– Загруженность спектра в конкретной зоне.

Ключевой задачей при оценке надежности сети беспроводного доступа с высокой плотностью пользователей является полоса пропускания на одну точку доступа, иными словами какое количество трафика она способна обработать. Современные точки доступа в среднем способны обрабатывать от 1 до 2.5 Гбит/сек трафика, не считая дорогостоящих решений под узкоспециализированные задачи. Также следует учитывать планируемую скорость подключения на одного клиента, от этого в том числе будет зависеть то, какое количество точек доступа следует разместить, чтобы обеспечить необходимую скорость доступа для определенного количества клиентов.

Второй задачей является оценка потенциального числа клиентов беспроводной сети и предельная количественная нагрузка на одну точку доступа.

Третьей задачей является возможность балансировки нагрузки с переводом на другую точку доступа, а также возможность обеспечения отказоустойчивости различных элементов сети беспроводного доступа.

Четвертой задачей является обеспечение необходимого уровня качества обслуживания (использование методов QoS для приоритизации трафика).

3. Методы обеспечения надежности сети беспроводного доступа с высокой плотностью пользователей

Исходя из вышеприведенных задач, следует придерживаться следующих методов обеспечения надежности сети беспроводного доступа с высокой плотностью пользователей:

1. Использовать точки доступа, созданные специально для работы в таких условиях

Данное условие могут обеспечить точки доступа с большим количеством внутренних или внешних антенн и возможностью использования MIMO и применяемых в современных устройствах модуляций 256-QAM, 512-QAM, 1024-QAM

2. Обеспечить бесшовный роуминг

Для реализации данной задачи часто необходимо использование связующего устройства между точками доступа – контроллера, который, ко всему прочему, также позволит осуществлять мониторинг состояния отдельных точек доступа, роуминг клиентов при перемещениях и отказах или перегрузках некоторых точек доступа

3. Использовать функцию Band Steering

Данная функция позволит переводить клиентов на наименее загруженный диапазон [3]

4. Применить балансировку нагрузки

Равно как и в пункте 2 – следует использовать контроллер, который позволит распределить клиентские устройства на разные точки доступа при наличии уверенного приема сигнала

5. Использовать автовыбор канала

В случае возникновения ситуаций с высоким уровнем внутриканальной и межканальной интерференции возможен вариант перехода на менее загруженный канал

6. Использовать функцию Airtime Fairness

Позволит выделять равное время для обслуживания каждого клиента беспроводной сети, это особенно важно для сетей с высокой плотностью пользователей, так как одно устаревшее устройство может повысить соб-

ственный приоритет обслуживания, тем самым замедлив всю сеть или сегмент сети, в которой работают современные устройства, как следствие качество обслуживания большого количества устройств резко снизится

4. Модель надежности сети беспроводного доступа с высокой плотностью пользователей

Рассмотрим имитационное моделирование сети беспроводного доступа с высокой плотностью пользователей и оценим параметры ее надежности.

Для моделирования используется программное обеспечение, разработанное Aruba Networks – VisualRF Plan [4], используются следующие виды точек доступа:

– AP-105 – два радиомодуля, технология 2x2 MIMO, поддерживает одновременную работу на диапазонах 2,4ГГц и 5ГГц, позволяет организовать беспроводную сеть в помещениях, где сконцентрированы клиенты с различными типами радиомодулей.
– AP-135 – два радиомодуля, технология 3x3 MIMO, содержит два порта 10/100/1000BASE-T, агрегатная скорость до 450Мбит/с, обеспечивает высокую производительность и скорость даже в условиях плохой радиообстановки.

На плане помещений (рис.1) галочками отмечены целевые помещения для теоретической установки точек доступа.

Рис. 1. План помещений

Загружаем данный план в программу с указанием масштаба и отмечаем на нем расположение и тип стен (рис. 2). В этой программе доступны четыре варианта стен:

– Concrete – из бетона;
– Cubicle – «кабинки», офисные перегородки;
– Drywall – из гипсокартона;
– Glass – из стекла.

В нашем случае красным обозначены бетонные стены, желтым – из гипсокартона, что соответствует реалиям нашего помещения. Отмечаем область, которую необходимо покрыть беспроводной сетью (серым цветом на схеме).

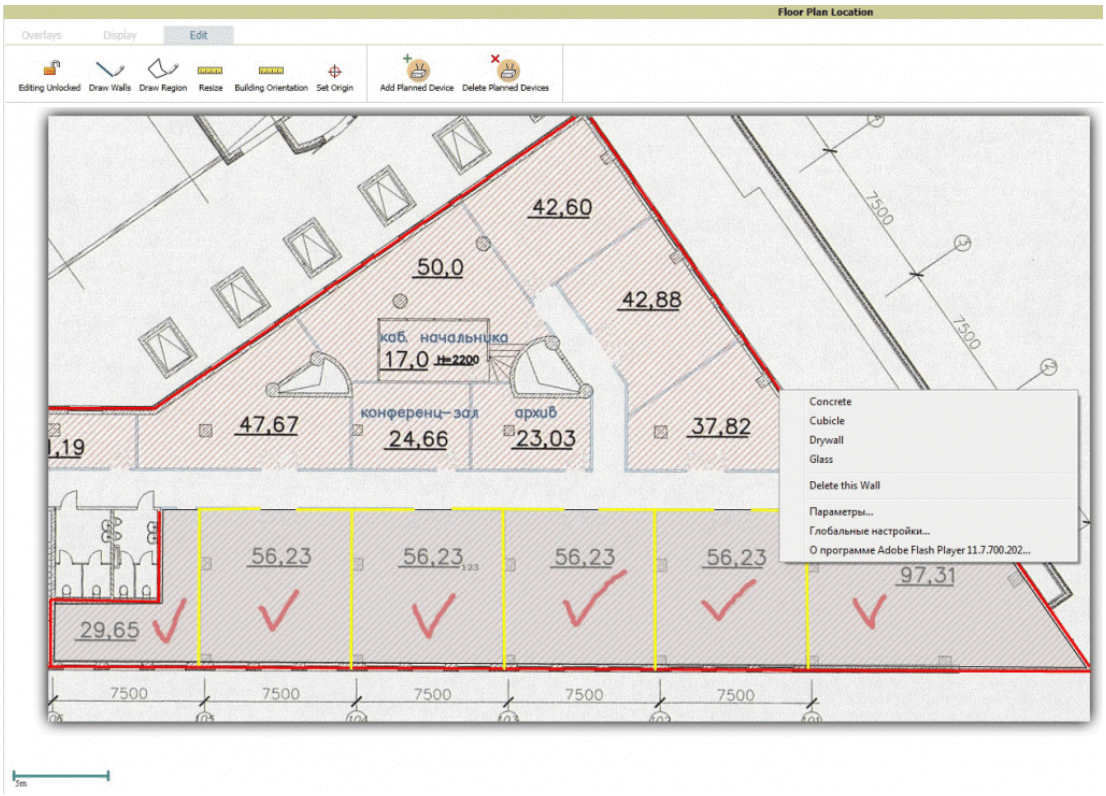


Рис. 2. План помещения с помеченными материалами стен

Выделяем область для планирования и запускаем диалоговое окно, в котором нужно задать параметры работы точек доступа и распределение абонентов между ними (максимальное количество пользователей, скорость и количество пользователей на канал).

Назначаем:

– Минимальная скорость 90 Мбит/с на пользователя;
– Всего 40 пользователей, но не более 5 на один канал;
– Мощность передатчиков выставляем средней

– Определяем параметры пространства (environment): выставляем офисы-гипрок;
– Тип точки определяем как AP-105 для возможности поддержки клиентов, работающих на частоте 5ГГц

Исходя из заданных параметров получаем план покрытия, изображенный на рис. 3.

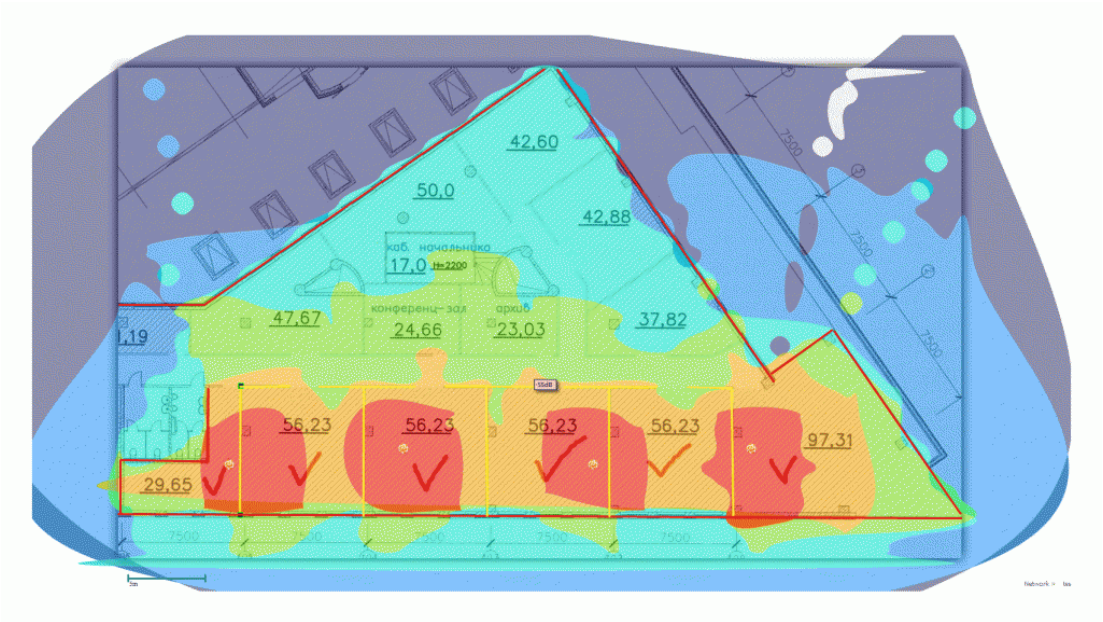


Рис. 3. План покрытия, точки доступа Aruba AP-105

Получившаяся схема отражает радиочастотное покрытие заданной площади, на которой цветные области соответствуют следующим значениям:

– Красная – уровень сигнала: -45дб;
– Оранжевая – уровень сигнала: -55дб;
– Салатовая: -65дб и т.д.

Уверенный прием сигнала возможен в вышеописанных трех зонах. Для реализации этого плана программа предложила установить четыре точки доступа.

Рассмотрим альтернативный вариант с более мощной топовой точкой доступа AP-135 и максимальной мощностью (30 dbm):

– 40 пользователей, максимально по 10 на один канал;
– минимальная скорость 90 Мбит/с;
– мощность каждого передатчика выставляем максимальной;
– точку доступа выбираем AP-135 (высокая плотность пользователей).

Получаем:

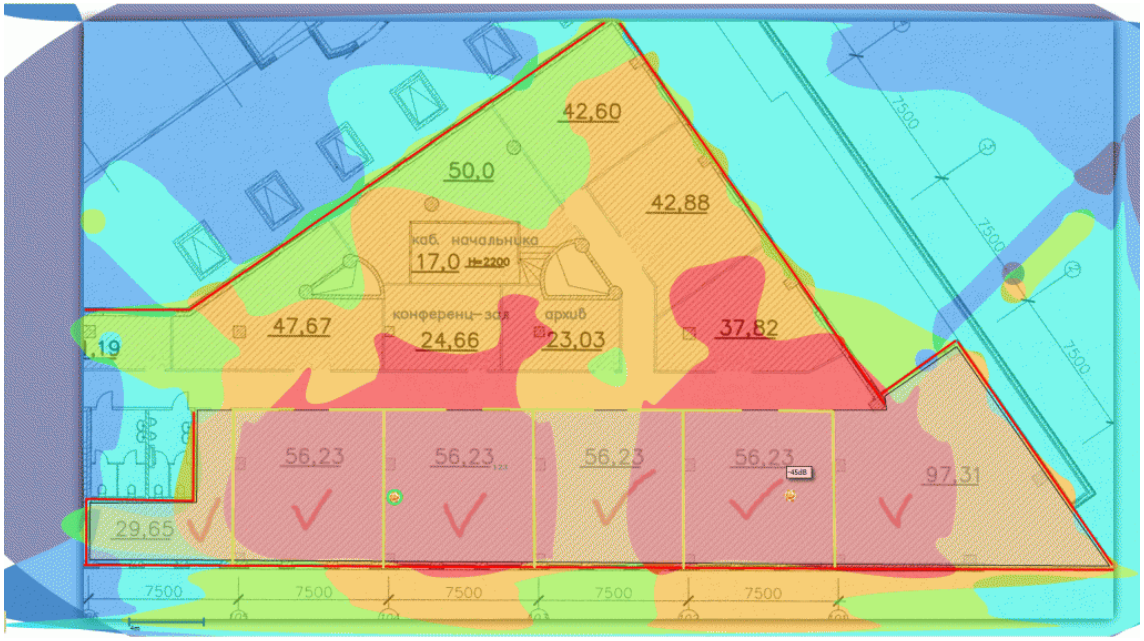


Рис. 4. План покрытия, точки доступа Aruba AP-135

Получившаяся схема отражает радиочастотное покрытие заданной площади, на которой цветные области соответствуют следующим значениям:

– Красная – уровень сигнала: -45дб;
– Оранжевая – уровень сигнала: -55дб;
– Салатовая: -65дб и т.д.

Уверенный прием сигнала возможен в вышеописанных трех зонах. Для реализации этого плана программа предложила установить две точки доступа.

Видим, что две точки доступа AP-135 на максимальной мощности должны справиться с поставленной задачей не хуже, чем четыре AP-105 на средней мощности.

Рассмотрим плюсы и минусы данной модели.

Плюсы:

– широкое покрытие всего помещения точками доступа средней и высокой мощности передатчика;
– высокая скорость доступа на каждое устройство;
– обеспечение резервирования второй точки доступа за счет широкого покрытия;
– обеспечение бесшовного роуминга между точками доступа при наличии контроллера;
– возможность работы модели без внутриканальной и межканальной интерференции.

Минусы:

– стоимость решения (особенно при применении точки доступа AP-135);

– при высокой мощности передатчика могут происходить обрывы соединения или невозможность подключения с клиентского устройства (само по себе клиентское устройство обладает как правило гораздо более слабым передатчиком);
– при базовом подключении без контроллера невозможен бесшовный роуминг;
– при базовом подключении без контроллера проблематично регулирование используемого спектра и других параметров радиопередачи, а также настройка QoS.

Выводы

1. Определены ключевые параметры, влияющие на надежность сети: пропускная способность, качество соединения, нагрузка и внешние помехи.

2. Предложены технологии и методы, такие как MIMO, бесшовный роуминг, Band Steering и балансировка нагрузки.

2. Проведено моделирование с использованием оборудования Aruba AP-105 и AP-135, выявлены их преимущества и ограничения.

4. Проанализированы достоинства и недостатки предложенных решений на базе оборудования Aruba AP-105 и AP-135.

Список используемой литературы

1. Aruba Networks. VisualRF Plan: User Guide. Aruba Networks, 2021.

2. IEEE Standard for Information technology–Telecommunications and information exchange between systems–Local and metropolitan area networks–Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std 802.11ac, 2013.

3. Cisco Systems. High-Density Wi-Fi Design Guide for Large Public Venues. Cisco, 2020.

4. Kurose J., Ross K. Computer Networking: A Top-Down Approach. Pearson, 2017.

5. Нужна надежная беспроводная сеть // Хабр. URL: https://habr.com/ru/ companies/mws/articles/182734/. (дата обращения 16.11.2024).

A RELIABILITY MODEL FOR A HIGH-DENSITY WIRELESS ACCESS NETWORK

Krylov S., Paramonov A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article focuses on the organization and reliability of wireless access networks with high user density. Key parameters affecting network stability, such as bandwidth, connection quality, load, and external interference, are examined. Modern technologies and methods are proposed, including seamless roaming, load balancing, and Band Steering. Simulation modeling using Aruba AP-105 and AP-135 equipment was conducted, enabling the assessment of radio frequency coverage and network performance under various conditions.

Key words: *Wi-Fi, high-density network, reliability*

УДК 621.39
ГРНТИ 49.33.29

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ СТРАТЕГИИ МОНИТОРИНГА ПОДКАНАЛОВ ДЛЯ ВЫСОКОПЛОТНОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ СЕТИ IOT

А. И. Парамонов, Ф. Н. Хоанг

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В гетерогенных сетях Интернета вещей каждый узел использует несколько подканалов связи для передачи данных. Их производительность изменяется во времени из–за помех, затухания сигнала и нагрузки сети. В условиях высокой плотности узлов это приводит к конфликтам, увеличению задержки и потере пакетов. Для повышения эффективности требуется стратегия мониторинга, обеспечивающая оценку качества подканалов в реальном времени. Это позволит оптимизировать выбор ресурсов и улучшить работу сети.

Интернет вещей, гетерогенные сети, мониторинг

Введение

В условиях высокой плотности узлов гетерогенные сети Интернета вещей (ИВ) сталкиваются с проблемами эффективного управления подканалами связи [1–3]. Поэтому важной задачей является разработка стратегии мониторинга, позволяющей оценивать качество подканалов и обеспечивать эффективное управление ресурсами сети. Модель гетерогенной сети ИВ, используемая в данном исследовании, была представлена в нашей работе [4].

В данной работе проводится обзор существующих методов мониторинга качества каналов в гетерогенных сетях ИВ, анализируются ключевые параметры QoS и рассматриваются подходы к их оптимизации.

Обсуждаются потенциальные стратегии адаптивного управления каналами с учетом динамических изменений условий передачи данных. Особое внимание уделяется влиянию высокой плотности узлов на производительность сети и возможности повышения надежности передачи данных за счет эффективного мониторинга и распределения ресурсов.

Сбор данных для мониторинга подканалов

Эффективное управление ресурсами в гетерогенных сетях Интернета вещей требует непрерывного мониторинга характеристик подканалов, включая коэффициент битовых ошибок (КБО), отношение сигнал/шум (ОСШ), задержку передачи и энергопотребление.

Мониторинг подканалов может быть централизованным или распределенным:

– *централизованный*: узлы передают измеренные параметры в координационный узел, который анализирует данные и перераспределяет нагрузку. Данный подход дает глобальное представление о сети, но увеличивает нагрузку на передачу данных;
– *распределенный*: узлы обрабатывают локальные данные, обмениваются информацией и принимают децентрализованные решения. Это снижает нагрузку на центральный узел, но требует эффективных алгоритмов координации.

Для обработки полученных данных может быть применен ряд методов:

– *статистический анализ* выявляет аномалии в параметрах QoS;
– *машинное обучение* (кластеризация, временные ряды, обучение с подкреплением) прогнозирует изменения качества подканалов и оптимизирует распределение ресурсов.

Использование интеллектуальных алгоритмов анализа данных позволяет адаптивно регулировать распределение трафика между подканалами, минимизируя задержки и потери пакетов, а также повышая энергоэффективность системы.

Оценка и классификация подканалов

На основе данных, полученных в процессе мониторинга, система выполняет оценку стабильности и эффективности каждого подканала. Данный этап является ключевым для обеспечения адаптивного управления ресурсами сети, поскольку позволяет определить, насколько надежен и эффективен конкретный подканал передачи данных.

Критерии оценки:

– *стабильность*: анализ флуктуаций КБО, ОСШ и задержки; нестабильные каналы менее надежны для критически важных данных;
– *пропускная способность*: измерение средней скорости передачи и вероятности перегрузки;
– *энергоэффективность*: соотношение энергопотребления и объема переданных данных, особенно важно для автономных устройств.

Подканалы разделяются по уровню стабильности, пропускной способности и энергопотребления, что позволяет оптимально распределять нагрузку в гетерогенной сети ИВ.

Настройка политики использования подканалов

Для обеспечения надежности передачи данных узлы ИВ адаптируют стратегию использования подканалов в ответ на ухудшение их характери

стик. Динамическое перераспределение нагрузки позволяет увеличить объем передачи через более стабильные подканалы и сократить использование менее надежных, что снижает вероятность потерь пакетов и уменьшает задержку. Однако потери пакетов могут иметь различные причины в зависимости от типа подканала, что непосредственно влияет на надежность передачи данных (табл. 1).

Таблица 1. Основные факторы потерь пакетов и их влияние на надежность передачи

Тип подканала	Причины потери пакетов	Влияние на надежности
Радиоканал	Помехи, перегрузка сети, замирания сигнала	Постепенное снижение со временем при увеличении нагрузки
Оптический канал	Туман, препятствия	Внезапное пропадание сигнала при наличии преград
Акустический канал	Отражение, поглощение, искажение сигнала	Более низкая надежность из-за влияния окружающей среды

Оптимизация параметров передачи, включая регулировку мощности и адаптивное кодирование, минимизирует энергопотребление и повышает эффективность работы сети. В условиях значительного ухудшения качества канала узлы могут переходить на многоканальный режим передачи, распределяя данные между несколькими подканалами, что увеличивает пропускную способность системы и снижает влияние помех. Такой подход обеспечивает адаптивное управление ресурсами сети и поддерживает высокий уровень качества обслуживания в гетерогенной среде.

Технологии и предполагаемая математическая модель

Для анализа и оптимизации передачи данных в высокоплотной гетерогенной сети ИВ предполагается использование ряда математических моделей и алгоритмических подходов. Применение теории массового обслуживания позволит рассчитать среднюю задержку при использовании нескольких подканалов, учитывая характеристики их загрузки и пропускной способности. Вероятностный анализ будет использоваться для оценки вероятности потери пакетов и эффективности передачи данных, что позволит более точно моделировать поведение сети в условиях изменяющихся характеристик подканалов.

Кроме того, для адаптивного выбора подканалов планируется внедрение методов машинного обучения и оптимизации. В частности, алгоритмы обучения с подкреплением обеспечат возможность динамического выбора наилучших каналов на основе накопленных данных и текущего состояния сети. Также рассматривается применение эвристических методов оптимизации, таких как алгоритм роя частиц (PSO) и оптимизатор серого волка (GWO), которые позволяют эффективно распределять нагрузку между подканалами с учетом заданных критериев, таких как минимизация задержек, снижение потерь пакетов и оптимизация энергопотребления. Интеграция этих подходов позволит разработать интеллектуальную систему мониторинга и управления подканалами связи в сетях ИВ с высокой плотностью узлов.

Практическое применение

Разработанная стратегия мониторинга подканалов для высокоплотных гетерогенных сетей ИВ имеет широкий спектр практических приложений. В умных городах плотность сенсоров и устройств, передающих данные, чрезвычайно высока. Эффективный мониторинг качества каналов позволяет обеспечивать стабильность связи, снижать задержки и минимизировать потери пакетов, что критически важно для таких задач, как управление транспортными потоками, мониторинг окружающей среды и системы видеонаблюдения в реальном времени.

В промышленном Интернете вещей надежность передачи данных играет ключевую роль, особенно в условиях повышенного уровня электромагнитных помех, высокой температуры и других неблагоприятных факторов. В таких средах применение адаптивных алгоритмов выбора каналов способствует повышению устойчивости системы, снижению вероятности отказов и оптимизации энергопотребления. Это особенно актуально для мониторинга работы промышленного оборудования, предиктивного технического обслуживания и автоматизированных производственных процессов.

Дополнительно, системы ИВ, предназначенные для мониторинга окружающей среды, транспортных потоков и медицинских приложений, предъявляют высокие требования к надежности и непрерывности передачи данных. В таких сценариях динамическое управление подканалами связи позволяет минимизировать влияние временных ухудшений качества связи и адаптироваться к изменяющимся условиям. Например, в медицинских IoT–системах мониторинг жизненно важных показателей пациентов тре-

бует высокой точности и быстродействия, а в транспортных сетях ИВ анализ дорожной ситуации в реальном времени критически зависит от стабильности связи.

Таким образом, предложенная стратегия мониторинга подканалов обеспечивает повышение эффективности работы сетей в различных областях, улучшая их надежность, адаптивность и устойчивость к изменяющимся условиям среды.

Заключение

В данной работе рассмотрен процесс мониторинга подканалов в высокоплотных гетерогенных сетях ИВ, включающий анализ параметров качества связи, классификацию подканалов и адаптивное управление ресурсами. Описаны подходы к оценке стабильности подканалов и корректировке их использования для обеспечения надежной передачи данных. Представленный обзор может быть полезен для дальнейших исследований в области оптимизации сетевых ресурсов и повышения эффективности работы.

Список используемых источников

1. Recommendation ITU-T Y.2060, Overview of the Internet of things.

2. Noaman M., et al. Hallenges in integration of heterogeneous internet of things // Scientific Programming, 2022.

3. Qiu Tie, et al. How can heterogeneous internet of things build our future: A survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018. № 20.3. PP. 2011–2027.

4. Koucheryavy A., Okuneva D., Paramonov A., Huang F. Methods of Traffic Distribution in a Heterogeneous High-Density Internet of Things Network // Proceedings of Telecommunication Universities, 2024. № 10 (2). PP. 67–74. (in Russ.). DOI:10.31854/1813-3 24X-2024-10-2-67-74. EDN:RTNVEU.

DEVELOPMENT OF AN EFFICIENT SUBCHANNEL MONITORING STRATEGY FOR HIGH-DENSITY HETEROGENEOUS IOT NETWORKS

Paramonov A., Hoang N.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In heterogeneous Internet of Things networks, each node utilizes multiple communication subchannels for data transmission. Their performance fluctuates over time due to interference, signal attenuation, and network congestion. In high-density node environments, these factors lead to conflicts, increased latency, and packet loss. To enhance network efficiency, a monitoring strategy is required to assess subchannel quality in real time. This approach enables optimized resource selection and improves overall network performance.

Key words: *Internet of Things, heterogeneous networks, monitoring*

УДК 621.396.4
ГРНТИ 50.37.03

КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ ПРОЦЕДУР МОНИТОРИНГА ЗАЩИЩЕННОСТИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ КАНАЛЫ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

И. Б. Паращук [1], Е. С. Владимирова[2], Л. А. Саяркин [1]

[1] Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного
[2] Севастопольский государственный университет (СевГУ)

Рассмотрены существующие подходы к задачам мониторинга, проведен анализ особенностей функционирования современных программно-аппаратных комплексов электронного документооборота и, на этой основе предложены некоторые классификационные признаки процедур мониторинга защищенности объектов такого класса, использующих каналы инфокоммуникационных сетей. Предложены признаки, позволяющие систематизировать большинство факторов, влияющих на защищенность подобных комплексов в различных условиях обстановки и дающие возможность наметить и провести четкие функциональные границы на этапах наблюдения, оценки и прогноза значений показателей информационной безопасности современных программно-аппаратных комплексов электронного документооборота.

электронный документооборот, инфокоммуникационная сеть, мониторинг, защищенность, программно-аппаратный комплекс, параметр информационной безопасности.

Процедуры мониторинга защищенности программно-аппаратных комплексов электронного документооборота (ЭД), использующих для передачи данных измерений параметров информационной безопасности (ПИБ) каналы инфокоммуникационных сетей, представляют собой динамичные, сложные, зачастую, взаимоувязанные процессы [1].

Для анализа и совершенствования вопросов мониторинга защищенности, как самих подобных комплексов, так и контента (содержательного наполнения пакетов данных ЭД), передаваемого по каналам инфокоммуникационных сетей, используются разнообразные методы и средства, включая технологии компьютерного зрения [2, 3].

Поэтому вопросы классификации подобных процедур играют важную роль для систематизации задач наблюдения, оценки и прогноза значений ПИБ, что, в свою очередь, позволяет выработать адекватную систему требований к современным программно-аппаратных комплексам ЭД. В этой

связи предполагается провести анализ базовых классификационных признаков, причем, к одному из наиболее важных, на наш взгляд, можно отнести периодичность мониторинга защищенности программно-аппаратных комплексов ЭД. В частности, наблюдение, оценка и прогноз значений ПИБ программно-аппаратных комплексов ЭД с последующей передачей данных измерений этих параметров по каналам инфокоммуникационных сетей, могут осуществляться либо беспрерывно-поточно, либо циклично-поточно, либо повременно (эпизодически), либо точечно – в случае необходимости.

Помимо этого, важным признаком для классификации динамических процедур, осуществляемых в рамках функционирования сложных технических (либо информационно-технических) объектов, принято считать интенсивность воздействия (влияния) каждой конкретной процедуры на информационный обмен, на интенсивность передачи и приема данных измерений ПИБ программно-аппаратных комплексов ЭД по каналам инфокоммуникационных сетей в условиях воздействия потенциальных угроз в современном киберпространстве [4].

Иногда связанным с этим признаком, считают также классификационный признак, часто называемый типом активизации отклика (стимулирования, «возбуждения», инициирования) объекта мониторинга. Этот признак характеризует и обуславливает объем и номенклатуру фиксации в рамках мониторинга промежуточных и итоговых значений ПИБ программно-аппаратных комплексов ЭД, как объективную реакцию объекта на подобную активизацию отклика, на подобное стимулирование.

По типу активизации (стимулирования) и характеру отклика на нее строятся предположения и формулируются более-менее достоверные гипотезы о текущем состоянии защищенности программно-аппаратных комплексов ЭД, использующих каналы инфокоммуникационных сетей. Впервые подобный подход был использован в рамках процессов традиционной технической диагностики сложных технических (информационно-технических) объектов, причем различают несколько разновидностей активизации (стимулирования):

– деловая (натуральная естественная), в рамках которой на контролируемые входы подсистемы информационной безопасности и, соответственно, на входы подсистемы мониторинга, подаются рабочие либо специально сгенерированные стимулирующие вредоносные (атакующие) воздействия, которые присущи процессу функционирования программно-аппаратных комплексов ЭД;

– проверочно-экспериментальная (искусственная тестовая), при которой на вход подсистемы информационной безопасности и, соответственно, на вход подсистемы мониторинга программно-аппаратных комплексов ЭД, подаются оригинальные воздействия, отличающиеся от натуральных, т.е., пробные, тестовые воздействия [5].

В соответствии с этой классификацией, по нашему мнению, есть смысл говорить о функциональном (базирующемся на деловых воздействиях) мониторинге защищенности программно-аппаратных комплексов ЭД, использующих каналы инфокоммуникационных сетей, а также о тестовом мониторинге, организуемом как контроль за реакцией после тестовых проверочно-экспериментальных воздействий [5].

Одним из важнейших классификационных признаков, характеризующих особенности процедур наблюдения, оценки и прогноза защищенности программно-аппаратных комплексов ЭД, использующих каналы инфокоммуникационных сетей, является, на наш взгляд, диапазон и номенклатура ПИБ, контролируемых в рамках мониторинга. Здесь можно различить два базовых метода:

– абсолютный глобальный (иногда говорят – тотальный) мониторинг защищенности, в рамках которого собираются, наблюдаются, оцениваются и прогнозируются все возможные значения ПИБ по максимальному количеству аспектов защиты программно-аппаратных комплексов ЭД;
– частичный, избирательный мониторинг защищенности, в рамках которого собирается, наблюдается, оценивается и прогнозируется лишь необходимое число данных о значениях только некоторой части из множества ПИБ, обычно характеризующих наиболее существенные аспекты защищенности объектов такого класса. Поиск и формулировка такого необходимого и достаточного числа (объема и номенклатуры) контролируемых ПИБ программно-аппаратных комплексов ЭД, является первостепенной задачей, границы допустимых решений которой заданы финальной целью мониторинга [6].

Для этого существуют методы и частные алгоритмы синтеза оптимального множества контролируемых ПИБ в интересах задач мониторинга и управления защищенностью сложных технических (либо информационно-технических) объектов в тех или иных условиях. Апробированы и хорошо проявили себя, так называемые, алгоритмы синтеза оптимального (либо рационального) состава пространства ПИБ, принадлежащих пространству

управления защищенностью комплексами подобного рода. Данные алгоритмы позволяют формулировать для задач мониторинга множество ПИБ, постоянный контроль над значениями которых обязательно требуется аудитору информационной безопасности систем ЭД в заданных условиях обстановки [6].

Вместе с тем, необходимо отметить, что существующие методы и алгоритмы лишь отчасти способны решать, в интересах мониторинга, множество задач синтеза оптимального (либо рационального) состава пространства контролируемых ПИБ в различных условиях неопределенности, обусловленных многофакторностью условий функционирования программно-аппаратных комплексов ЭД и воздействий на них деструктивных факторов (нарушителей). Для эффективного решения задач мониторинга защищенности программно-аппаратных комплексов ЭД, использующих каналы инфокоммуникационных сетей, необходимы новые современные механизмы синтеза множества контролируемых ПИБ, позволяющие использовать для конкретных условий адекватный алгоритм поиска объема и номенклатуры параметров защищенности с учетом неопределенности.

Помимо этого, в рамках классификации процедур мониторинга необходимо различать объекты наблюдения, оценки и прогноза значений ПИБ. В частности, речь может идти либо о наблюдении, оценке и прогнозе параметров возмущающих негативных факторов (несобственные, внешние параметры), влияющих на защищенность, или о наблюдении, оценке и прогнозе собственных, внутренних параметров защищенности, или о комбинации этих подходов.

Таким образом, изучены существующие подходы, проведен анализ особенностей функционирования современных программно-аппаратных комплексов ЭД и, на этой основе предложены некоторые классификационные признаки процедур мониторинга защищенности объектов такого класса, использующих каналы инфокоммуникационных сетей. Рассмотрены признаки, позволяющие систематизировать факторы, влияющие на защищенность подобных комплексов в различных условиях обстановки, позволяющие провести четкие функциональные границы на этапах наблюдения, оценки и прогноза значений показателей информационной безопасности современных программно-аппаратных комплексов электронного документооборота.

Список используемых источников

1. Комаров В. В., Буйневич М. В. Оценка и мониторинг защищенности информационных ресурсов как нештатная ситуация // Информационные технологии и телекоммуникации. 2023, Т. 11. № 4. С. 1–14.

2. Крюкова Е. С., Паращук И. Б. Сущность, цели и принципы оптимального адаптивного мониторинга безопасности и качества контента электронных образовательных ресурсов, доступных пользователям по каналам телекоммуникационных сетей // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов. Выпуск 12 / СПОИСУ. СПб.: 2023. С. 105–109.

3. Яровой Р. В., Саяркин В. А., Паращук И. Б. Средства и комплексы технического зрения как дополнительный инструмент мониторинга защищенности систем электронного документооборота на базе современных телекоммуникационных сетей и технологий // Региональная информатика (РИ-2024). XIX Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2024)». Санкт-Петербург, 23-25 октября 2024 г.: Материалы конференции. \ СПОИСУ. СПб.: 2024. С. 85–87.

4. Захарченко Р. И., Королев И. Д. Методика оценки устойчивости функционирования объектов критической информационной инфраструктуры, функционирующей в киберпространстве // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. Т.10. № 2. 2018. С. 52–61.

5. Волков Ю. В. Системы технического диагностирования, автоматического управления и защиты: учебное пособие. Ч. 1 / ВШТЭ СПб ГУПТД. СПб.: 2019. 115 с.

6. Башкирцев А. С., Михайличенко Н. В., Ренсков А. А., Паращук И. Б. Совершенствование объема и номенклатуры множества контролируемых параметров, принадлежащих пространству управления информационными системами и сетями // Успехи современной науки. Том 4. № 1. 2017. С.46–51.

CLASSIFICATION FEATURES OF SECURITY MONITORING PROCEDURES FOR ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT SOFTWARE AND HARDW ARE SYSTEMS USING INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORK CHANNELS

Parashchuk I., Vladimirova E., Sayarkin L.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The existing approaches to monitoring tasks are considered, the analysis of the features of functioning of modern software and hardware complexes of electronic document management is carried out and, on this basis, some classification features of procedures for monitoring the security of objects of this class using channels of infocommunication networks are proposed. Features are proposed that allow systematizing most of the factors affecting the security of such complexes in various conditions of the environment and make it possible to outline and draw clear functional boundaries at the stages of observation, assessment and forecast of the values of information security indicators of modern software and hardware complexes of electronic document management.

Key words: *electronic document management, information and communication network, monitoring, security, hardware and software complex, information security parameter*

УДК 629.12
ГРНТИ 20.53.01

СИНОПСИС НЕКОТОРЫХ АСПЕКТОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕР ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРГИГИЕНЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И АДМИНИСТРАТОРОВ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ

И. Б. Паращук, А. А. Ренсков, Я. А. Домбровский

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Рассмотрены современные аспекты и проведен краткий обзор важных технологических мер обеспечения кибергигиены пользователей и администраторов инфокоммуникационных сетей и систем. Осуществлен анализ некоторых практических подходов к обеспечению мер кибергигиены с использованием технологий виртуальных частных сетей, модулей доверенной загрузки и моделей раскрытия уязвимостей программного обеспечения сетевых устройств и автоматизированных рабочих мест пользователей и администраторов сетей и систем такого класса.

кибергигиена, инфотелекоммуникационная сеть, пользователь, администратор, технологические меры, аспект, виртуальная частная сеть.

Защищенность пользователей современных инфокоммуникационных сетей и систем по-прежнему является приоритетной задачей, повсеместно решаемой администраторами в рамках реализации политики информационной безопасности. Одной из действенных мер в рамках реализации данной политики считается обеспечение кибергигиены пользователей, под которой принято понимать теорию и практику внедрения протоколов и разнообразных мер предосторожности, которые, будучи реализованными, поддерживают работоспособность системы, повышают кибербезопасность и снижают риск стать жертвой атаки (взлома) [1-4].

Более того, в современных условиях кибергигиена пользователей и администраторов инфокоммуникационных сетей и систем имеет гораздо большее значение и играет более заметную роль, чем, например, пятнадцать лет назад, поскольку в «век цифровизации» технологии занимают более значительное место в жизни нашего информационного общества, нашей онлайн-среды, в различных сферах жизнедеятельности нашего государства – обороне, здравоохранении, транспорте, образовании и др. [5].

Анализ современного состояния уровня и полиморфизма потенциальных киберугроз позволяет говорить о том, что кибергигиена может и должна

включать в себя весь комплекс возможных мер, все взаимоувязанное и подчиненное единой цели множество разнообразных политик, практик, протоколов и процедур обучения пользователей и администраторов, которые организации-владельцы или конкретные должностные лица инфокоммуникационных сетей и систем могут внедрить, чтобы сделать «экосистему» подобных сетей и систем более защищенной.

В основе всех этих политик, практик, протоколов и процедур обучения лежат несколько основных аспектов, учитывать и, безусловно, принимать во внимание которые, по нашему мнению, должны все пользователи и администраторы современных инфокоммуникационных сетей и систем (и любых иных технологических продуктов), дабы защититься от потенциальных киберугроз.

Подобные аспекты характеризуют некоторые специальные организационные и технические меры, которые не требуют от пользователей и администраторов современных инфокоммуникационных сетей и систем особых навыков кибербезопасности. Эти меры и практические шаги можно легко внедрить, как часть обязательных (рутинных) мероприятий, например, для пользователей инфокоммуникационных сетей и систем при их ежедневном допуске к работе на автоматизированных рабочих местах.

Рассмотрим некоторые из этих аспектов, проведем их краткий обзор (синопсис). Одним из важных достоинств с точки зрения обеспечения кибергигиены пользователей и администраторов современных инфокоммуникационных сетей и систем обладает «привычка» к использованию виртуальной частной сети.

Действительно, массовость использования общественного Wi-Fi не только для стандартного решения производственных задач, для традиционной протокольной работы в инфокоммуникационных сетях и системах, но и для покупок в Интернете, подключения к аккаунтам в социальных сетях, просмотра или передачи личной информации и данных, являются не столько достоинством, сколько проблемой администраторов безопасности сетей и систем такого класса.

С рабочего места пользователя даже (условно) ведомственных инфокоммуникационных сетей и систем можно свободно подключиться к сети Интернет, однако эта «свобода» имеет свою цену, с этими подключениями могут быть связаны нетривиальные киберриски. Подобные подключения не требуют аутентификации пользователя для установления сетевого подключения, что создает богатый спектр возможностей для хакеров по получению

доступа к незащищенным устройствам пользователей в наших инфокоммуникационных сетях и системах.

Как организационный, так и технологический выход из данной ситуации известен и затрагивает один из ключевых аспектов обеспечения кибергигиены пользователей и администраторов современных инфокоммуникационных сетей и систем. Для этого в рамках борьбы с потенциальными киберугрозами все чаще пользователи подобных сетей и систем используют виртуальную частную сеть (Virtual Private Network, VPN), которая позволяет обеспечить конфиденциальность и анонимность. Это позволяет использовать серверы, протоколы и шифрование, чтобы скрыть данные пользователя и его локацию от потенциальных злоумышленников.

Помимо этого, существуют более конкретные технологические меры (практики) обеспечения кибергигиены, которые организации-владельцы или конкретные должностные лица инфокоммуникационных сетей и систем должны внедрить для защиты «экосистемы» подобных объектов связи и автоматизации. В частности, немаловажным аспектом обеспечения кибергигиены пользователей и администраторов современных инфокоммуникационных сетей и систем продолжает оставаться скоординированная политика раскрытия уязвимостей для обеспечения безопасности, так называемая, политика «Coordinated Vulnerability Disclosure» (CVD) [6].

Это один из подходов в рамках обеспечения кибергигиены, иными словами – некая модель раскрытия уязвимостей, при которой сама уязвимость или иная проблема защищенности инфокоммуникационных сетей и систем становится доступна (докладывается) широкой общественности только после того, как аудиторам безопасности будет выделено достаточное время для устранения этой уязвимости или проблемы [6, 7].

Речь идет, в основном, о превентивной борьбе с уязвимостями или проблемами программного обеспечения современных инфокоммуникационных сетей и систем. Наличие в арсенале «борьбы за кибергигиену» подобной политики – модели CVD, гарантирует, что любой риск или потенциальный вред для пользователей инфокоммуникационных сетей и систем, возникающий из-за уязвимости или проблемы программного обеспечения, может быть своевременно минимизирован, сразу после их обнаружения.

Принятие политик CVD может значительно способствовать решению задач обеспечения кибергигиены пользователей и администраторов современных инфокоммуникационных сетей и систем. Они дают «правильным

хакерам», исповедующим этичность поведения в сети, конкретные рекомендации по представлению уязвимостей безопасности инфокоммуникационных сетей и систем непосредственно пострадавшей организации-собственнику таких сетей вместо публичной публикации информации об уязвимостях или продажи ее недобросовестным лицам.

Пытаясь минимизировать количество вовлеченных лиц, минимизируется риск эксплуатации конкретной уязвимости или проблемы программного обеспечения инфокоммуникационных сетей и систем.

Кроме того, важным аспектом обеспечения кибергигиены пользователей и администраторов современных инфокоммуникационных сетей и систем является аутентификация, работа по предотвращению несанкционированного доступа к ресурсам сетей и систем такого класса. Эту задачу могут помочь решить модули доверенной загрузки автоматизированных рабочих мест. Они призваны обеспечивать загрузку операционных систем на автоматизированных рабочих местах пользователей и администраторов инфокоммуникационных сетей и систем с единого носителя и лишь после того, как полностью и позитивно выполнится аутентификация и идентификация этих пользователей и должностных лиц [8, 9].

Таким образом, рассмотрены современные аспекты и проведен краткий обзор (синопсис) важных технологических мер обеспечения кибергигиены пользователей и администраторов инфокоммуникационных сетей и систем. Осуществлен анализ некоторых практических подходов к обеспечению мер кибергигиены с использованием технологий виртуальных частных сетей, модулей доверенной загрузки и моделей раскрытия уязвимостей программного обеспечения сетевых устройств и автоматизированных рабочих мест пользователей и администраторов сетей и систем такого класса.

Список используемых источников

1. Aleman A., McClure D., Kaine J. and oth. Cyber Hygiene: Whitepaper by the IJIS Institute. Ashburn (USA): IJIS Institute. 2023. 34 p.

2. Ашманов И. С., Касперская Н. И. Цифровая гигиена. СПб: Питер. 2022. 508 с.

3. Козырева А. А. Определение термина «кибергигиена» и возможность его применения в правовом поле // Пробелы в российском законодательстве. 2018. №7. С. 92–94.

4. Крюкова Е. С., Малофеев В. А., Паращук И. Б. Вопросы кибергигиены пользователей и операторов автоматизированной системы управления электронной библиотекой // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2021. Т. 13. № 2. С. 66–73.

5. Бабошин В. А., Бондаренко М. Д., Паращук И. Б. Условия и задачи построения операторной модели, методов и алгоритмов адаптивного контроля кибергигиены поль-

зователей автоматизированных систем на объектах транспорта и транспортной инфраструктуры // Развитие теории и практики транспортного строительства, информационной поддержки транспортных систем: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции (21 июня 2024 г.) / под общей ред. Вепринякa И.А. СПб, Петергоф: ВИ (ЖДВ и ВОСО), 2024. С. 79–86.

6. Ховард М., Лебланк Д., Виега Д. Уязвимости в программном коде и борьба с ними / Перев. с англ. А.А. Слинкин. М.: ДМК Пресс. 2011. 290 с.

7. Имамвердиев Я.Н. Модель GM (1, 1)-Маркова для прогнозирования уязвимостей программного обеспечения // Проблемы информационных технологий, 2014. №1. С. 26–37.

8. Виноградов В. Р., Бондаренко М. Д., Паращук И. Б. К задаче рационального выбора модулей доверенной загрузки автоматизированных рабочих мест в рамках контроля соблюдения правил кибергигиены пользователями телекоммуникационных сетей // Региональная информатика (РИ-2024). XIX Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2024)». Санкт-Петербург, 23-25 октября 2024 г.: Материалы конференции. \ СПОИСУ. СПб.; 2024. С. 48–50.

9. Паращук И. Б., Михайличенко А. В., Саяркин Л. А. Выбор аппаратно-программного модуля доверенной загрузки для обеспечения защиты от несанкционированного доступа автоматизированного рабочего места оператора дата-центра специального назначения // Методы и технические средства обеспечения безопасности информации (МиТСОБИ-2024). Материалы 33-й Всероссийской научно-технической конференции. (п. Репино, 24-27 июня 2024). СПб.: Издательство Политехнического университета, 2024. С. 147–149.

SYNOPSIS OF SOME ASPECTS AND TECHNOLOGICAL MEASURES TO ENSURE CYBER HYGIENE OF USERS AND ADMINISTRATORS OF MODERN INFOCOMMUNICATION NETWORKS AND SYSTEMS

Parashchuk I., Renskov A., Dombrovsky Y.,
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The article examines modern aspects and provides a brief overview of important technological measures to ensure cyber hygiene for users and administrators of information and communication networks and systems. It analyzes some practical approaches to ensuring cyber hygiene using virtual private network technologies, trusted boot modules, and models for disclosing vulnerabilities in software for network devices and automated workstations for users and administrators of networks and systems of this class.

Key words: *cyber hygiene, information telecommunication network, user, administrator, technological measures, aspect, virtual private network*

УДК 621.396.4
ГРНТИ 50.37.03

КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ, СТАДИИ И ФОРМАЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА МЕТОДОВ И ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ПОИСКА ПЕРТИНЕНТНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА БОЛЬШИХ ОБЪЕМАХ ДАННЫХ

И. Б. Паращук, А. В. Селезнев, Л. А. Саяркин

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Исследованы и детально проанализированы стадии формулировки и решения общей задачи многокритериального выбора перспективных поисковых алгоритмов, выбора методов и программно-аппаратных инструментов поиска пертинентной информации на больших объемах данных. Сформулированы важные научные и практические задачи, которые должны быть решены в рамках выбора подобных методов и программно-аппаратных средств информационного поиска. Предложен вариант последовательности этапов исследований, нацеленных на синтез содержания и номенклатуры системы показателей качества реализации поисковых запросов на информационных ресурсах больших объемах данных и на формулировку ключевых стадий разработки методики (комплекса алгоритмов) обоснования многокритериального выбора методов и программно-аппаратных инструментов поиска пертинентной информации.

многокритериальный выбор, пертинентная информация, данные, информационный поиск, большие объемы данных, реализация поисковых запросов, показатель качества

Ярко и отчетливо проявившиеся в последнее время проблемы оперативного поиска пертинентной информации на больших объемах данных (БОД), обуславливают объективную необходимость формулировки и решения задачи многокритериального выбора методов и программно-аппаратных инструментов, обеспечивающих и эффективно реализующих подобный поиск [1, 2].

При этом БОД, большие наборы данных, или просто, Большие Данные (Big Data), первоначально символизировали, поясняли и представляли собой объективный факт взрывного роста мировых объемов этих данных, сейчас это понятие трансформировалось и обозначает, по сути, огромные, часто говорят даже, колоссальные массивы информации [3-5].

Это терабайты, петабайты, эксабайты, зеттабайты (секстиллионы байт) и даже йоттабайты (2^{80} байт) структурированных или неструктурированных

данных, сгруппированных в большие массивы и предназначенных для использования в рамках обработки и анализа (статистики) информации, прогнозирования событий и явлений (включая природные явления, катастрофы и чрезвычайные ситуации) и поддержки принятия решений в различных сферах иной человеческой деятельности.

Для работы с БОД, для их эффективной обработки и поиска необходимой информации, используют специальные методы и программно-аппаратные инструменты.

При этом важной проблемой продолжает оставаться поиск пертинентной информации на БОД, под которой принято понимать найденные информационно-поисковой системой и предоставленные пользователю данные, максимально (наиболее полно и точно) соответствующие его информационным потребностям и запросам. Данная проблема по-прежнему актуальна несмотря на то, что уже разработаны и применяются на практике некоторые частные, даже интеллектуальные, методы и алгоритмы информационного поиска [6].

Решение подобной важной проблемы – проблемы многокритериального выбора перспективных поисковых алгоритмов, механизмов повышения качества реализации поисковых запросов (РПЗ) пользователей, средств и приемов поиска пертинентной информации в среде Big Data, может и должно, на наш взгляд, быть решено с привлечением современных процедур интеллектуальной обработки БОД, ориентированных например, на математику нечетких отношений предпочтения и анализ нечетких альтернатив [7].

Отсюда следует, что предметом рассмотрения, классификации и изучения в рамках подобных исследований может и должен выступать процесс (совокупность процедур) РПЗ пользователей или лиц, принимающих решения (ЛПР) на БОД, а объектом изучения представляются эффективные алгоритмы поиска пертинентной информации [8, 9].

Следует иметь в виду, что объективно существует ряд обстоятельств, группа факторов, усугубляющих и делающих проблему современного информационного поиска на Больших Данных, острой и актуальной:

– фактор (ситуация, коллизия), касающийся характера самих БОД, и связанный, как с наличием известной «проблемы Больших Данных» – колоссального объема как самой имеющейся и хранимой информации, так и с многообразием и разнородностью ее источников;

– фактор, связанный с изменчивостью (динамичностью) данных и массивов хранимой и обрабатываемой информации, что, в конечном итоге предопределяет появление проблемы «устаревания»;
– фактор, сопряженный с дефицитом профессиональных навыков и умений в сфере информационного поиска у большинства пользователей или ЛПР, претендующих на получение пертинентной информации;
– инструментальный фактор, обусловленный скудностью, нехваткой, а чаще – банальным отсутствием современных инновационный методов и действенных программно-аппаратных решений, способных гарантировать как своевременность и пертинентность поиска, так и учет приоритетов и тематических пожеланий (предпочтений) пользователей или ЛПР, претендующих на эффективный поиск необходимой им информации на БОД.

Таким образом, предлагается полагать актуальным и целесообразным разработку действенных и эффективных современных алгоритмов многокритериального выбора методов и программно-аппаратных инструментов поиска пертинентной информации на БОД. При этом ключевыми стадиями решения данной задачи, по нашему мнению, являются:
– формирование безызбыточного множества (системы) параметров и показателей, характеризующих общее качество информационного поиска на ресурсах БОД;
– обобщение опыта, анализ существующих и разработка новых алгоритмов многокритериального выбора методов и программно-аппаратных инструментов поиска пертинентной информации на БОД;
– формулировка этапов новой методики оценки показателей качества реализации поисковых запросов пользователей или ЛПР, претендующих на эффективный поиск необходимой им информации на БОД;
– разработка новой методики (комплекса алгоритмов) обоснования многокритериального выбора методов и программно-аппаратных инструментов поиска пертинентной информации на БОД;
– выработка и описание базовых этапов в рамках перспективной методики повышения качества реализации поисковых запросов на БОД (в зависимости от оценок показателей качества) с учетом требований по пертинентности найденной информации и своевременности поиска;
– разработка предложений по практической реализации методов и программно-аппаратных инструментов поиска пертинентной информации на БОД с учетом приоритетов и предпочтений пользователей.

Последовательность этапов создания подобных алгоритмов многокритериального выбора методов и программно-аппаратных инструментов поиска пертинентной информации на БОД, сформулированная в виде предложенных ключевых стадий решения задачи, может и должна, по нашему мнению, быть реализована на основе:

– научного обобщения теоретических аспектов существующих и перспективных подходов к информационному поиску;
– систематизации, иерархизации и ранжировки информации в рамках поисковых систем в целях выполнения требований по ее пертинентности;
– индексации и группирования значительного количества разнородных источников информации для оперативной классификации поисковых запросов с учетом требований по пертинентности.

Таким образом, проведен анализ современных подходов к многокритериальному выбору перспективных поисковых алгоритмов, к выбору методов и программно-аппаратных инструментов поиска пертинентной информации на БОД.

Сформулированы ключевые научные и практические задачи, которые должны быть решены в рамках выбора подобных методов и программно-аппаратных средств информационного поиска.

Рассмотрены основные вопросы структуризации исследований, нацеленных на синтез содержания и номенклатуры множества параметров и показателей качества реализации поисковых запросов на информационных ресурсах БОД и на формулировку ключевых стадий разработки методики (комплекса алгоритмов) обоснования многокритериального выбора методов и программно-аппаратных инструментов поиска пертинентной информации на ресурсах такого класса.

Список используемых источников

1. Васенин В. А., Афонин С. А., Козицын А. С., Шундеев А. С. Поиск в сверхбольших хранилищах данных и высокопроизводительные системы с массовым параллелизмом // Труды международной конференции «Программные системы: теория и приложения». ИПС РАН. Физматлит, Переславль-Залесский: 2004. С. 211–228.

2. Паращук И. Б., Царамов М. В., Сафонов Д. В. Анализ основных требований к процедурам поиска и навигации в больших объемах информации, циркулирующей в региональных телекоммуникационных сетях // Юбилейная XV-ая Санкт-Петербургская Международная Конференция «Региональная информатика 2016 (РИ-2016)». Материалы конференции. СПб.: СПОИСУ, 2016. С. 114–115.

3. Тесленко И. Б., Губернаторов А. М., Дигилина О. Б., Крылов В. Е. Big Data. Большие данные: учеб. пособие. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2021. 123 с.

4. Лесковец Ю., Раджараман А., Ульман Дж. Д. Анализ больших наборов данных. / Пер. с англ. А.А. Слинкин. М.: ДМК Пресс, 2016. 498 с.

5. Паращук И. Б. Большие Данные, проблемы и перспективы // Неделя науки. Материалы конференции. В 2-х кн. Кн.2. СПб.: ВАС, 2015. С. 66–71.

6. Елизаров В. В., Паращук И. Б., Салюк Д. В. Обоснование требований к программно-аппаратным комплексам специального назначения для сбора и обработки информации на основе методов интеллектуального анализа большого количества разнородных и неструктурированных данных // Техника средств связи. 2024. № 1 (165). С. 76–89.

7. Саяркин Л. А., Паращук И. Б., Владимирова Е. С. Этапы и особенности разработки методики повышения качества информационного поиска на ресурсах современных центров обработки данных с использованием нечетких отношений предпочтения и сравнения альтернатив // Информация и космос. № 1, 2024. С. 38–45.

8. Миронов А. Л., Позднышева Г. В. Соотношение релевантности и пертинентности поисковой выдачи // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием (п. Майский, 1 декабря 2022 г.). ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2023. С. 257–260.

9. Паращук И. Б., Саяркин Л. А., Селезнев А. В. Повышение качества реализации поисковых запросов в распределенных системах хранения данных // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. С. А. Бруси-ловского; сост. А. А. Нестеров. СПб.: СПбГУТ, 2024. Т. 1. С. 592–596.

KEY FACTORS, STAGES AND FORMAL FORMULATION OF THE PROBLEM OF MULTI-CRITERIA SELECTION OF METHODS AND SOFTWARE AND HARDWARE TOOLS FOR SEARCHING FOR PERTINENT INFORMATION ON LARGE VOLUMES OF DATA

Parashchuk I., Seleznev A., Sayarkin L.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The stages of formulation and solution of the general problem of multi-criteria selection of promising search algorithms, selection of methods and software and hardware tools for searching for pertinent information on large volumes of data are investigated and analyzed in detail. The key scientific and practical tasks that should be solved within the framework of the selection of such methods and software and hardware tools for information retrieval are formulated. An approximate structure of studies aimed at synthesizing the content and nomenclature of the system of quality indicators for the implementation of search queries on information resources of large volumes of data and at formulating the key stages of developing a methodology (set of algorithms) for substantiating the multi-criteria selection of methods and software and hardware tools for searching for pertinent information is proposed.

Key words: *multi-criteria choice, pertinent information, data, information retrieval, large amounts of data, search query implementation, quality indicator*

УДК 654.739
ГРНТИ 49.33.29

РИСКИ И МОДЕЛЬ УГРОЗ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

И. Е. Пестов, Р. Д. Стародубов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Использование распределенных вычислений, организованных в компьютерных сетях, является одним из наиболее доступных и широко применяемых решений для сокращения времени выполнения ресурсоемких задач. Распределенные вычислительные сети объединяют подразделения и филиалы, предоставляя доступ к приложениям, базам данных и сервисам. Однако их использование связано с рядом рисков и угроз информационной безопасности. В статье рассмотрены основные подходы к анализу угроз, управления рисками и обеспечения защиты таких систем, акцент сделан на применении международных стандартов и эффективных методик для минимизации потенциальных угроз.

риски, модель угроз, распределенные вычислительные системы, управление рисками

Информационная безопасность (ИБ) стала ключевым условием для стабильного функционирования современных компаний. Распределенные вычислительные системы (РВС) объединяют структурные единицы компаний, обеспечивая единую среду доступа к данным и сервисам. Однако эти же системы становятся целями кибератак, включая утечки информации, деструктивное воздействие на инфраструктуру и подмену данных [1]. Примером могут служить данные Генеральной прокуратуры РФ. В 2023 году ущерб от ИТ-преступлений превысил 500 миллиардов рублей. Это указывает на актуальность и критическую важность своевременного выявления уязвимостей и управления рисками ИБ в распределенных инфраструктурах [2].

РВС подвержены множеству угроз из-за своей многокомпонентной архитектуры, сетевых протоколов, зависимости от внешних поставщиков и сложности администрирования. Ключевыми проблемами являются: потенциальные уязвимости в точках взаимодействия компонентов, затрудненность мониторинга и обнаружения аномалий, зависимость от удаленных пользователей и подрядчиков, а также ограниченные ресурсы на защиту при большом объеме трафика и операций. Эти особенности усложняют реализацию эффективной системы ИБ и требуют формализованного подхода к управлению рисками.

Проектирование системы информационной безопасности должно базироваться на действующих международных и российские регламентах. К таким документам можно отнести:

– ISO/IEC 27001 международный стандарт управления ИБ, описывающий структуру процессов защиты.
– ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408 – российский аналог ISO/IEC 15408 (Common Criteria), регламентирующий оценку надежности ИТ-продуктов.
– Методические документы ФСТЭК России, включая положения о защите критической информационной инфраструктуры, модели угроз и требования к системам защиты персональных данных.

Указанные документы задают нормативные рамки, в которых строятся политики ИБ, реализуется архитектура КСЗИ и формируется модель угроз.

Для обеспечения эффективной защиты используется комплекс риск-ориентированных методик [3]. Наиболее применимыми являются:

– CRAMM (CCTA Risk Analysis and Management Method). Плюсам метода являются такие характеристики как системность, проработанность, гибкость в детализации активов и угроз. Однако есть и недостатки в виде высокой трудоемкости и длительности внедрения;
– FRAP (Facilitated Risk Analysis Process). Данный метод характеризуется быстрым фокусом на приоритетных угрозах, но не охватывает весь спектр рисков и обладает неформализованной оценкой уязвимостей;
– MSAT (Microsoft Security Assessment Tool). Преимуществами инструмента являются: автоматизация, шаблонность, интеграция с экосистемой Microsoft, но его применимость ограничена определенными архитектурами;
– SLS (Symantec Lifecycle Security) обладает хорошей совместимостью с SIEM системами и имеет мониторинг в реальном времени. К минусам непосредственно относится дороговизна лицензирования и сложности масштабирования.

Все перечисленные методики используют качественные и/или количественные подходы, включая матрицы рисков, ROI и ALE [4].

Хотя технологии Big Data кажутся перспективными для выявления угроз (например, с помощью анализа сетевого трафика и аномалий), в условиях РВС они имеют ряд критических ограничений:

– инфраструктурные сложности: высокие требования к вычислительным ресурсам и отказоустойчивости;
– особенности обработки: необходимость централизованного сбора и очистки данных, что увеличивает задержки;

– уязвимость каналов связи: риск перехвата и модификации данных при передаче между сегментами сети;
– высокая стоимость и ресурсоемкость эксплуатации.

Как правило, традиционные риск-ориентированные методы анализа и классификации угроз остаются предпочтительными для большинства предприятий, особенно в условиях ограниченного бюджета и регламентированных отраслей [5].

Проведя анализ методического документа ФСТЭК «Методика оценки угроз безопасности информации» от 5.02.2021 г., можно обнаружить неполноту модели угроз, в частности отсутствие следующих векторов [6]:
– автоматизация фишинга, генерация обходных шаблонов SIEM, атаки на CAPTCHA и антиспам-фильтры;
– использование ИИ злоумышленниками на этапе подготовки – от разведки и анализа инфраструктуры до генерации вредоносного кода и обхода защиты;
– компрометация ПО и компонентов до внедрения в систему (supply chain threats);
– закладка вредоносного кода на уровне библиотек, обновлений и драйверов [7].

Перечисленные угрозы требуют дополнительной проработки модели и включения новых сценариев атак [8].

Для построения защищенной РВС реализуется следующий цикл:

1. Сбор данных об инфраструктуре и активах;
2. Оценка их ценности и классификация;
3. Идентификация угроз и уязвимостей;
4. Оценка рисков с применением выбранной методики (например, CRAMM);
5. Разработка архитектуры защиты и политик ИБ;
6. Внедрение защитных мер (сегментация, контроль доступа, мониторинг);
7. Постоянный аудит, обновление и реакция на инциденты.

Риск-ориентированный подход остается наиболее эффективным инструментом защиты распределенных систем. Его преимущества:
– гибкость и масштабируемость;
– прозрачность оценки угроз;
– соответствие требованиям регуляторов.

Актуализация моделей угроз за счет включения новых сценариев, в том числе с применением ИИ и угроз цепочки поставки, позволяет сформировать надежную и адаптивную систему защиты. Технологии больших данных, несмотря на потенциал, на текущем этапе являются вспомогательным

инструментом и требуют значительных затрат. Поэтому их использование должно быть ограничено узкоспециализированными задачами и дополняться традиционными методами ИБ.

Список используемых источников

1. Ландшафт угроз для систем промышленной автоматизации. Второй квартал 2024 года. URL: https://securelist.ru/industrial-threat-landscape-q2-2024/110704/ (дата обращения 02.02.2025).

2. APT- и финансовые атаки на промышленные организации в третьем квартале 2024 года. URL: https://ics-cert.kaspersky.ru/publications/reports/2024/12/26/apt-and-financial-attacks-on-industrial-organizations-in-q3-2024/ (дата обращения 02.02.2025).

3. NIST Special Publication 800-53. Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations. 2020. URL: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ SpecialPublications/ NIST.SP.800-53r5.pdf (дата обращения 02.02.2025).

4. Ильченко Л. М. Расчет рисков информационной безопасности телекоммуникационного предприятия / Л. М. Ильченко, Е. К. Брагина, И. Э. Егоров, С. И. Зайцев // Открытое образование. 2018. Т. 22. № 2. С. 61-70. URL: https://doi.org/10.21686/1818-4243-2018-2-61-70 (дата обращения 02.02.2025).

5. В 2023 году кибератаки через подрядчиков стали одним из самых распространенных способов проникновения злоумышленников в корпоративную сеть. URL: https://www.kaspersky.ru/about/press-releases/v-2023-godu-kiberataki-cherez-podryadchikov-stali-odnim-iz-samyh-rasprostranyonnyh-sposobov-proniknoveniya-zloumyshlennikov-v-korporativnuyu-set (дата обращения 02.02.2025).

6. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации / ФСТЭК России. 5 февраля 2021 г. URL: https://fstec.ru/ (дата обращения 02.02.2025).

7. OWASP Top Ten. The Ten Most Critical Web Application Security Risks. 2021. URL: https://owasp.org/www-project-top-ten/ (дата обращения 02.02.2025).

8. Киберугрозы для промышленных предприятий и OT-инфраструктур в 2025 году. URL: https://ics-cert.kaspersky.ru/publications/reports/2025/01/29/threat-predictions-for-industrial-enterprises-2025/ (дата обращения 02.02.2025).

Статья представлена научным руководителем, заведующим кафедры ЗСС СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом А. В. Красовым.

RISKS AND THREAT MODEL IN DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEMS

Pestov I., Starodubov R.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The use of distributed computing organized in computer networks is one of the most accessible and widely used solutions to reduce the time required to complete resource-intensive tasks. Distributed computing networks connect divisions and branches, providing access to applications, databases, and services. However, their use is associated with a number of risks and threats to information security. The article discusses the main approaches to threat analysis, risk management and protection of such systems, focusing on the application of international standards and effective techniques to minimize potential threats.

Key words: *threat analysis, risk management, distributed computing networks, threat model*

УДК 621.391.8
ГРНТИ 49.43.29

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭМПИРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ С РЕЗУЛЬТАТАМИ МОНИТОРИНГА СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

А. А. Прасолов, Р. С. Рощинский

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье проведен сравнительный анализ эмпирических моделей распространения радиоволн, используемых для расчета характеристик сетей сотовой связи, с результатами мониторинга развернутых сетей сотовой связи. Проведено сопоставление прогнозируемых параметров, включая уровень сигнала и потери на пути распространения, с данными, полученными при измерениях в сетях LTE. На основе анализа выявлены преимущества и ограничения моделей, а также предложены рекомендации по их адаптации для улучшения прогноза в современных условиях. Работа направлена на повышение точности расчетов при планировании и оптимизации сетей сотовой связи.

модели распространения, COST231 – Хата, Окамура-Хата, Эриксон 9999, радиоизмерения, энергетические параметры

В работе [1] рассматривались эмпирические модели распространения, и результаты их расчета сравнивались с принимаемым сигналом системы LoRa. Однако большая часть этих моделей была разработана и предназначена для планирования сетей сотовой связи в определенных условиях, поэтому они имеют ограничения по частотам и по дальности применения. В связи с этим возникает вопрос об актуализации поправочных коэффициентов, внесении изменений и комбинировании моделей распространения в условиях плотной застройки.

Чтобы проверить точность и внести необходимые изменения, будут рассмотрены три эмпирические модели распространения, используемые в работе [1], а именно: COST231–Хата, Окамура–Хата и Эриксон 9999. Несмотря на то, что модели имеют ряд ограничений, они не будут учитываться, так как цель работы – внесение корректировок и разработка предложений по изменению их работы.

Для сопоставления прогнозируемых результатов с реальными, используется разработанный анализатор сетей сотовой связи, описанный в работе [2]. Устройство настроено на работу в сетях LTE в диапазоне частот 2100 (band 1). Измерения проводились согласно методике [3], используя метод

Walk Test. Маршрут измерений расположен в г. Мурино. На рисунке 1 представлены маршрут проведения измерений и базовые станции, которые зафиксировал анализатор сетей.

Рис. 1. Маршрут проведения измерений

В ходе проведения измерений был получен CSV-файл, содержащий информацию об энергетических характеристиках на исследуемом маршруте. Для сопоставления результатов с расчетами моделей распространения будет использоваться уровень пилотного сигнала RSRP. Базовые станции были выбраны так, чтобы соблюдались условия прямой видимости. Согласно рисунку 1, такими станциями стали БС 479722, БС 479724 и БС 479778.

Для сравнения результатов в разрабатываемой программе для постанализа был добавлен функционал, позволяющий сопоставлять расчеты моделей распространения с точками проведения измерений. Пример расчета представлен на рисунках 2. В программе можно выбрать базовую станцию, которая будет считаться центром расчета, и внести необходимые данные для дальнейшей работы.

Для удобства сравнения результатов и определения точек, где модели распространения начинают сильно расходиться с реальными измерениями, было принято решение разбить участки на 50 метров. В ходе анализа было

установлено, что при удалении от базовых станций на расстояние 150-200 метров, наблюдается наименьшее расхождение с измерениями, проводимых с помощью анализатора сетей. В таблице 1 приведен пример расхождения между измерениями и расчетами моделей распространения.

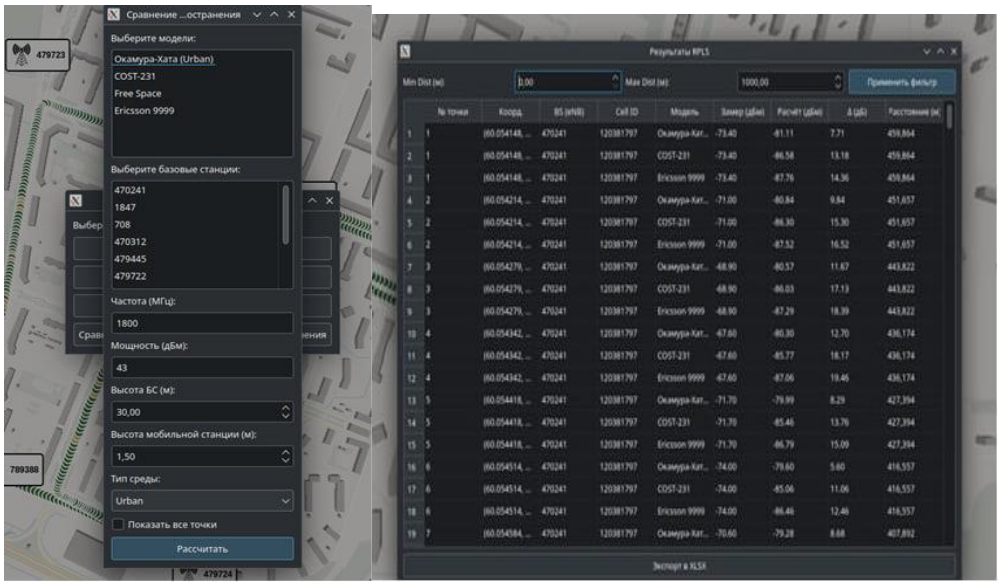


Рис. 2. Пример выбора модели распространения и расчет отклонений

ТАБЛИЦА 1. Результат расчета моделей распространения и определение расхождения между измерениями

Модель	Дельта	№ точки	Δ (дБ)	Расстояние (м)	Участок (м)
Окамура-Хата	Макс	51	-37.05	22.65	0–100
	Макс	59	-62.43	3.91	0–100
	Мин	30	-8.92	186.14	100–200
	Мин	26	-1.08	225.68	200–300
COST-231	Макс	51	-31.58	22.65	0–100
	Макс	59	-56.97	3.91	0–100
	Мин	30	-3.46	186.14	100–200
	Мин	26	4.39	225.68	200–300
Ericsson 9999	Макс	51	-24.02	22.65	0–100
	Макс	59	-45.68	3.91	0–100
	Мин	30	-0.36	186.14	100–200
	Мин	26	0.47	225.68	200–300

Для того, чтобы внести корректировки, были рассмотрены и предложены 3 метода. Добавление в расчет угол подвеса антенны относительно земли. Разбиение на участки по 50 метров и внесение корректировок в константы и комбинирование нескольких моделей распространения. После внесения результатов было определено, что при добавлении в расчеты угла наклона точность расчета моделей распространения увеличилась на 20 %. При разбиении на участи, точность увеличилась на 21 % и при комбинировании моделей точность увеличилась на 2 %. Результаты среднеквадратичной ошибки и абсолютной ошибки на примере одной базовой станции приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Результат исправления ошибок

Комбинирование моделей распространения	
MAE (дБ)	RMSE (дБ)
10.2	12.5
12.0	10.0
Учет угла наклона	
MAE (дБ)	RMSE (дБ)
10.2	12.5
7.8	9.3
Учет расстояния	
MAE (дБ)	RMSE (дБ)
10.2	12.5
8.5	9.1

Таким образом было определено, что на данном этапе можно ввести поправочный коэффициент K(d,θ), который будет учитывать дальность и угол наклона, без комбинирования моделей распространения. Внеся дополнительный корректировки в результате ошибку удалось уменьшить примерно на 35 %.

По итогам работы удалось скорректировать модели распространения, чтобы уменьши вероятность ошибки. Чтобы внести больше поправочных коэффициентов и учесть больше данных, таких как время провидения измерений, погоду, плотность застройки и другие факторы, необходимо провести больше измерений и исследований, что может увеличить процент исправления расчетов эмпирических моделей распространения.

Список используемых источников

1. Методика оценки качества услуг подвижной радиотелефонной связи. URL: https://digital.gov.ru/uploaded/files/04.12.2014_NN-P1921799.pdf?utm_referrer=https %3a %2f %2fwww.google.com %2f

2. Качнов А., Прасолов А., Рощинский Р., Сопов Д. Разработка анализатора сетей сотовой связи // International Journal of Professional Science, 2024. № 10-2. С. 49–55.

3. Рощинский Р. С. Сравнительный анализ модели Лонгли-Райса с эмпирическими моделями распространения // Студенческая весна-2023: Материалы 77-ой региональной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 23–24 мая 2023 года. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 49–54.

COMPARATIVE ANALYSIS OF EMPIRICAL PROPAGATION MODELS WITH THE RESULTS OF CELLULAR NETWORK MONITORING

Prasolov A., Roschinsky R.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper compares empirical models of radio wave propagation used to calculate the characteristics of cellular networks with the results of monitoring of deployed cellular networks. The predicted parameters, including signal strength and propagation path losses, are compared with the data obtained during measurements in LTE networks. On the basis of the analysis, the advantages and limitations of the models are identified, and recommendations for their adaptation to improve forecasting in modern conditions are proposed. The work is aimed at improving the accuracy of calculations when planning and optimising cellular networks.

Key words: *Propagation models, COST231-Hata, Okamura-Hata, Ericsson 9999, radio measurements, energy parameters*

УДК 004.383.3
ГРНТИ 47.55.35

РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

А. А. Прасолов, О. А. Свиньина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассмотрена разработка многоканального усилителя звуковой частоты класса АВ со встроенным цифровым сигнальным процессором и USB-программатором. Устройство предназначено для аппаратной реализации параметрических эквалайзеров и цифровых разделительных фильтров для многополосных акустических систем. Представлены результаты измерений характеристик усилителя в соответствии с IEC 60268-3. Предложены варианты усовершенствования разработанного прототипа.

цифровая обработка аудиосигналов, цифровой сигнальный процессор, усилитель звуковой частоты

Использование устройств цифровой обработки сигналов (ЦОС) значительно упрощает решение широкого набора задач акустики и аудиотехники. В зависимости от области применения цифровой сигнальный процессор (ЦСП) может быть реализован в виде отдельного устройства [1,2], встроен в аудиоинтерфейс [3–5], контент-сервер [6], AV-ресивер [7] или усилитель звуковой частоты (УЗЧ). Последние три варианта являются наиболее удобными для выполнения обработки сигналов в системах воспроизведения. УЗЧ с ЦСП также позволяют реализовать цифровые разделительные фильтры многополосных акустических систем при наличии достаточного числа выходных каналов.

На международном рынке представлено большое количество коммерческих моделей УЗЧ с ЦСП. Большинство бюджетных моделей четырехканальных УЗЧ представлены в сегменте автомобильной акустики [8–11]; модели, предназначенные для использования со стационарными акустическими системами, как правило, либо имеют только два выходных канала, либо их цена превышает 50 тыс. руб. [12–15]. Бюджетные модели УЗЧ, перечисленные в табл. 1, имеют схожие характеристики: номинальная выходная мощность в среднем составляет 50 Вт на канал; коэффициент гармонических искажений (КГИ) не превышает 0,05 %; отношение сигнал/шум в среднем составляет 95 дБ.

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики коммерческих УЗЧ с ЦОЗС

Модель, страна-производитель	Цена, тыс. руб.	Кол-во вых. кан.	Класс усилителя	Модель усилителя	Ном. вых. мощн. на 1 канал, Вт, RL = 4 Ом	КГИ, %	Раб. диапазон частот, Гц, +0/–3 дБ	С/Ш, дБ, А-взвешенный	Модель ЦСП
miniDSP PWR-ICE125 (США)	43	2	D	125ASX2	125	0,002	1,5–105	119	ADAU1445
Nakamichi NDSK4165AU (Япония)	16	4	AB	TDA7851	25	–	20–20000	90	ADAU1452
Nakamichi NDSK4185AU (Япония)	20	4	D	TPA3116D2	45	–	20–20000	90	ADAU1452
Pioneer DEQ-S1000A2 (Япония)	18	4	D	–	50	0,01	10–20000	>105	–
Rainbow EL-PA200 (Германия)	18	4	AB	TDA7851L	25	<0,05	20–20000	90	–
Sennuopu DP X11B (Китай)	21	4	AB	TDA7851A	25	0,01	20–20000	100	ADAU1452
Yamaha WXA-50 (Япония)	50	2	D	–	105	0,02	10–40000	98	–

Наибольший интерес, однако, представляет сравнение функционала этих устройств с точки зрения возможностей цифровой обработки. Все модели поддерживают реализацию параметрического эквалайзера; все, кроме Yamaha WXA-50, также поддерживают возможность реализации цифровых разделительных фильтров и коррекции задержки между каналами УЗЧ. Настройка ЦСП выполняется с помощью программного обеспечения, поставляемого в комплекте с устройством, в связи с чем ни одна из рассмотренных моделей не позволяет использовать возможности ЦСП в полной мере, что затрудняет или делает невозможным реализацию нестандартных операций обработки звуковых сигналов.

В качестве альтернативного решения было разработан собственный многоканальный УЗЧ, в основу которого было положено разработанное ранее устройство ЦОС [16] на базе ЦСП Analog Devices ADAU1401. В каче-

стве усилительного устройства был выбран широко используемой в любительских проектах бюджетный транзисторный усилитель мощности класса AB, выполненный на базе микросхемы TDA7850. Данная микросхема является аналогом TDA7851, используемой в устройствах Nakamichi NDSK4165AU, Rainbow EL-PA200 и Sennuopu DP X11B.

Структурная схема разработанного устройства приведена на рис. 1. Для реализации функций управления уровнем или иными параметрами звукового сигнала предусмотрены три датчика угла поворота. Питание УЗЧ осуществляется от встроенного блока питания мощностью 200 Вт; питание ЦСП и микроконтроллера – от отдельного блока питания мощностью 15 Вт. Устройство имеет два линейных входа и позволяет выполнять цифровую обработку и усиление четырех каналов одновременно.

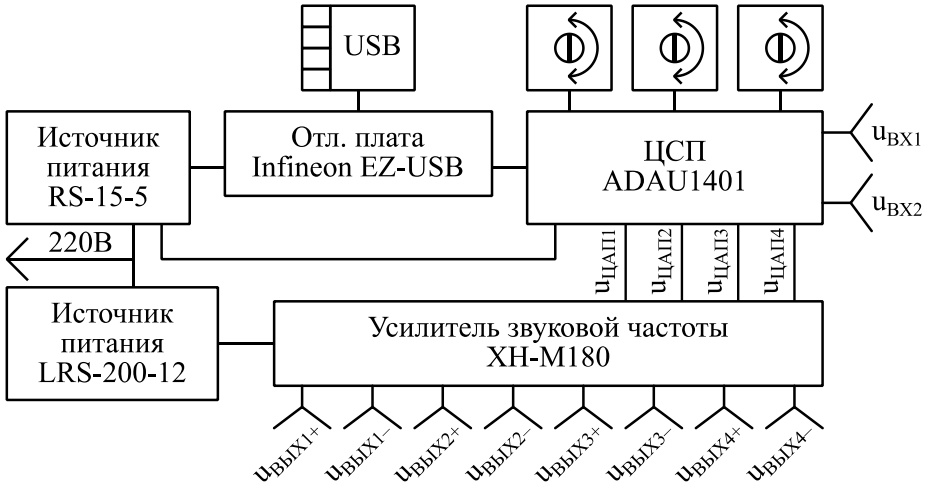


Рис. 1. Структурная схема УЗЧ с возможностью ЦОЗС

Корпус устройства имеет размеры 375×275×65 мм и изготовлен посредством 3D печати из PETG пластика. Внешний вид устройства показан на рис. 2.

Измерения характеристик разработанного УЗЧ были проведены в соответствии с [17]. Результаты измерений приведены в табл. 2. Частотные характеристики (ЧХ) усиления и фазочастотные характеристики (ФЧХ) четырех выходных каналов показаны на рис. 3, *а*. Эффективный диапазон частот, неравномерность частотной характеристики усиления, переходное затухание и отношение сигнал/шум соответствуют нормам [18] для бытовых УЗЧ второй группы сложности.

Однако, при проведении измерений с нагрузкой R_L = 4 Ом мощность $P_{ВЫХ}$, ограниченная величиной коэффициента гармонических искажений

(КГИ), равной 1 %, составила 6,2 Вт и оказалась существенно меньше заявленной в спецификации микросхемы TDA7850 [19] номинальной мощности 19 Вт. Зависимость КГИ от выходной мощности УЗЧ, полученная для частоты 1 кГц, показана на рис. 3, *б*; из рисунка видно, что уровень гармонических искажений в несколько раз превышает значения, заявленные производителем. Минимальное значение КГИ, полученное при величине выходной мощности 3,2 Вт, составило 0,415 %. Полученные результаты дают основание полагать, что использованный модуль XH-180M является низкокачественной аппаратной реализацией УЗЧ на базе TDA7850 и не подходит для использования в устройствах первой и высшей группы сложности.

а б

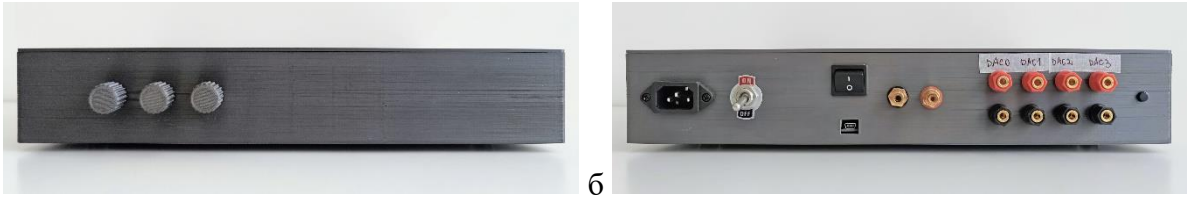
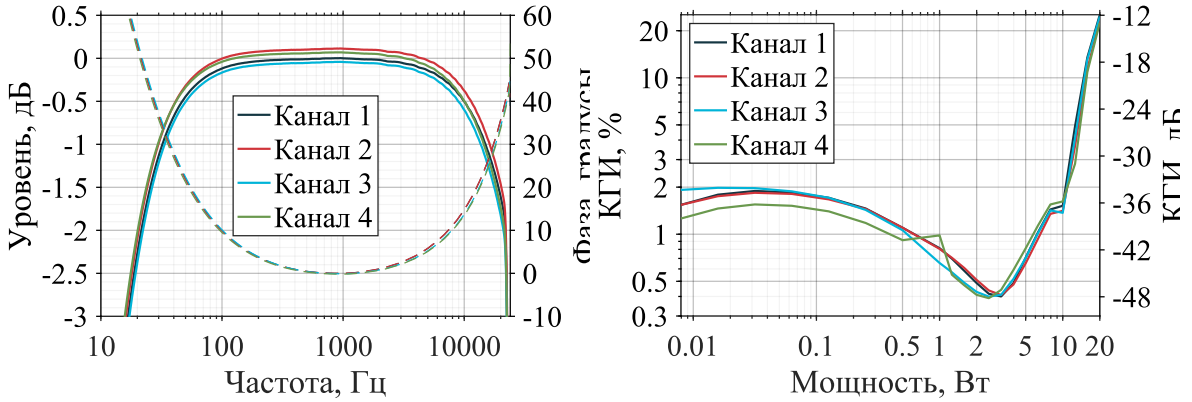


Рис. 2. Внешний вид разработанного устройства: передняя (*а*) и задняя (*б*) панель

ТАБЛИЦА 2. Технические характеристики разработанного устройства

№	Параметр	Условия измерения	Значение	Ед. изм.
1	Напряжение, огр. искажениями	КГИ = 1 %, 4 Ом, f = 1 кГц	5,0	В
2	Мощность, огр. искажениями	КГИ = 1 %, 4 Ом, f = 1 кГц	6,2	Вт
3	Мощность, огр. искажениями	КГИ = 1 %, 8 Ом, f = 1 кГц	3,1	Вт
4	Эффективный диапазон частот, огр. усилением	$P_{ВЫХ}$ = 6,2Вт, R_L = 4 Ом	17–22328	Гц
5	Неравномерность ЧХ усиления в диапазоне частот 20–20000 Гц	$P_{ВЫХ}$ = 6,2Вт, R_L = 4 Ом	+0/–2	дБ
6	Различие каналов по усилению	$P_{ВЫХ}$ = 6,2Вт, R_L = 4 Ом, f = 1 кГц	<0,16	дБ
7	Общие гармонические искажения	$P_{ВЫХ}$ = 3,2Вт, R_L = 4 Ом, f = 1 кГц	0,415	%
8	Переходное затухание между каналами на частоте 1 кГц	$P_{ВЫХ}$ = 6,2Вт, R_L = 4 Ом, f = 1 кГц	>81,5	дБ
9	Напряжение шума	А-взвешенный	62	мкВА
10	Отношение сигнал/взвешенный шум		98	дБ



а б

Рис. 3. а) ЧХ усиления (сплошная линия) и ФЧХ (пунктир) выходных каналов УЗЧ; б) зависимость КГИ от выходной мощности УЗЧ

Разработанное устройство предоставляет пользователю возможность использования полного функционала входящего в его состав ЦСП Analog Devices ADAU1401; программирование ЦСП осуществляется в среде разработки Sigma Studio. На задней панели устройства предусмотрена кнопка, включающая режим записи разработанной программы в постоянное запоминающее устройство ЦСП, что позволяет использовать усилитель без подключения к персональному компьютеру (ПК). Указанное преимущество существенно расширяет область применения устройства по сравнению с аналогичными коммерческими моделями.

Для улучшения характеристик усилительного тракта разработанного устройства целесообразно отказаться от использования усилителей класса AB и заменить модуль XH-180M на усилитель класса D, например, на базе микросхемы TPA3116D2, которая используется в большом количестве бюджетных моделей стереофонических усилителей.

С целью улучшения качественных показателей цифрового тракта в рамках дальнейшей работы над новым прототипом многоканального усилительного устройства планируется установить в него USB-транспорт, позволяющий осуществлять передачу цифрового сигнала от ПК или контент-сервера к ЦСП без выполнения дополнительного цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразования. Использование внешнего цифро-аналогового преобразователя с повышенной частотой дискретизации и разрешением квантования (192 кГц, 24 бит/отсчет) для восстановления сигнала, прошедшего цифровую обработку, позволит получить характеристики, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к звуковым трактам высокого разрешения (англ. high resolution audio).

Список используемых источников

1. Active Crossovers: miniDSP 2x4 HD // Home | miniDSP. URL: https://www.minidsp.com/products/minidsp-in-a-box/minidsp-2x4-hd (дата обращения 29.03.2025).

2. Dayton Audio - DSP-408 4x8 DSP Digital Signal Processor for Home and Car Audio // Dayton Audio: URL: https://www.daytonaudio.com/product/1551/dsp-408-4x8-dsp-digital-signal-processor-for-home-and-car-audio (дата обращения 29.03.2025).

3. UR44C: Everywhere a Recording Studio | Steinberg // Creativity First – Our Passion for Music Inspires | Steinberg: URL: https://www.steinberg.net/audio-interfaces/ur44c/ (дата обращения 29.03.2025).

4. UA Audio Interfaces | Thunderbolt & USB Audio Interfaces | Universal Audio // Universal Audio | Audio Interfaces | UAD Plug-Ins: URL: https://www.uaudio.com/audio-interfaces/apollo.html (дата обращения 29.03.2025).

5. Overview - Audient // Audient - Home: URL: https://audient.com/products/audio-interfaces/sono/overview/ (дата обращения 29.03.2025).

6. DSP machine 1 Black Amp 4, Hi-Res стример-усилитель (2x60Вт) для Raspberry Pi 4, ChipDipDac | купить в розницу и оптом // ЧИП и ДИП - интернет-магазин приборов и электронных компонентов: URL: https://www.chipdip.ru/product/dsp-machine-1-black-amp-4 (дата обращения 29.03.2025).

7. RX-V3081 - Описание - AV-Ресиверы - Аудио, домашний кинотеатр - Продукты Yamaha - Россия // Yamaha - Россия: URL: https://ru.yamaha.com/ru/products/audio_visual/av_receivers_amps/rx-v3081/index.html (дата обращения 29.03.2025).

8. Digital Signal Processor – Nakamichi Car Audio // Nakamichi Mobile Audio Systems – Nakamichi Car Audio: URL: https://nakamichicaraudio.com/collections/digital-signal-processor (дата обращения 29.03.2025).

9. Digital Signal Processing – Sennuopu Audio // Sennuopu Audio Office Store: URL: https://sennuopu.com/ru/collections/car-amplifier (дата обращения 29.03.2025).

10. DEQ-S1000A2 | DEQ-S1000A2 // Pioneer: URL: https://pioneer-car.eu/uk/deq-s1000a2/deq-s1000a2 (дата обращения 29.03.2025).

11. EL-PA200 - Precision Sound Engineering | Rainbow Audio // Car Audio Engineered in Germany | Car Audio Systems | Rainbow Audio: URL: https://www.rainbow-audio.de/dsp/experience-line/el-pa200/ (дата обращения 29.03.2025).

12. Behringer | Product | NX1000D // Behringer | Home: URL: https://www.behringer.com/product.html?modelCode=0106-AAO (дата обращения 29.03.2025).

13. DSP Amplifiers – Sonance Site // Life is Better with Music | Sonance – Sonance Site: URL: https://sonance.com/collections/dsp-amplifiers (дата обращения 29.03.2025).

14. LINUS12C - Coda Audio // Loudspeaker Systems for Conference Rooms & Large Stadiums: URL: https://codaaudio.com/electronics/linus12c/ (дата обращения 29.03.2025).

15. Plate Amplifiers: PWR-ICE125 // Home | miniDSP: URL: https://www.minidsp.com/products/plate-amplifiers/pwr-ice125 (дата обращения 29.03.2025).

16. Прасолов А. А., Свиньина О. А. Разработка устройства цифровой обработки звуковых сигналов на базе цифрового сигнального процессора Analog Devices ADAU1401 // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. / Под. ред. Р. В. Киричка; сост. А. А. Нестеров. СПб: СПбГУТ, 2024. Т. 3. С. 389–394.

17. IEC 60268-3-2013 Sound system equipment – Part 3: Amplifiers. Geneva: IEC, 2013. 126 p.

18. ГОСТ 24388-88 (СТ СЭВ 1079-78) Усилители сигналов звуковой частоты бытовые. Общие технические условия. Москва: Издательство стандартов, 1989. 11 с.

19. TDA7850 4 x 50 W MOSFET quad bridge power amplifier // STMicroelectronics: Our technology starts with you: URL: https://www.st.com/resource/en/datasheet/tda7850.pdf.

DEVELOPING MULTICHANNEL AUDIO AMPLIFIER WITH INTEGRATED DIGITAL SIGNAL PROCESSOR

Prasolov A., Svinyina O.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper presents a multichannel Class AB audio amplifier featuring an integrated digital signal processor and USB programmer. The device is designed for hardware-based implementation of parametric equalizers and digital crossover filters in two-way speaker systems. Measurement results compliant with the IEC 60268-3 standard are provided to validate the amplifier's performance. Potential strategies for advancing the product's development are discussed.

Key words: *digital audio signal processing, digital signal processor, audio amplifier*

УДК 534.612
ГРНТИ 29.37.23

РАЗРАБОТКА ПОВОРОТНОГО СТОЛА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А. А. Прасолов, О. А. Свиньина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассмотрен процесс разработки поворотного стола на основе шагового двигателя. Управление углом поворота осуществляется с помощью микроконтроллера; предусмотрена возможность установки шага угла поворота в диапазоне от 1 до 360 градусов. Использование поворотного стола с механизированным приводом позволяет упростить процедуру проведения измерения характеристик направленности электроакустического оборудования и повысить точность результатов измерений.

поворотный стол, шаговый двигатель, электроакустические измерения

В реальных помещениях звуковое поле всегда представляет собой суперпозицию поля прямого звука и поля отраженных звуков. В отличие от поля прямого звука, характеристики которого практически полностью определяются осевыми характеристиками акустической системы (АС), на спектральные, амплитудные и временные характеристики поля отраженных звуков дополнительно влияют характеристика направленности АС, акустические характеристики помещения и расположение громкоговорителей в нем. Во избежание изменения тембральной окраски звукового сигнала при воспроизведении в незаглушенном помещении необходимо, чтобы частотная характеристика звукового давления АС на оси и вне ее имела схожую форму, а индекс направленности оставался постоянным во всем диапазоне рабочих частот [1, 2].

В соответствии с государственными и международными стандартами [3–6] измерение характеристики направленности электроакустического оборудования должно проводиться с использованием поворотного устройства, обеспечивающего:

– возможность вращения испытуемого громкоговорителя или микрофона вокруг рабочего центра от 0° до 360°;
– погрешность отсчета угла поворота – не более ±3°;
– шаг угла поворота – не более 5°.

На международном рынке представлено несколько моделей поворотных устройств, отвечающих указанным требованиям [7–13]. Технические характеристики наиболее популярных моделей представлены в табл. 1. Существенным недостатком всех рассмотренных устройств является их высокая стоимость, делающая эти устройства недоступными для малых производственных предприятий, а также инженеров-любителей. В качестве альтернативы также существуют свободно распространяемые проекты, позволяющие изготовить поворотное устройство самостоятельно [14–16], однако, большинство подобных проектов не предусматривают наличие полного функционала, заложенного в коммерческие устройства.

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики коммерческих поворотных устройств

Модель	Страна-изготовитель	Макс. нагрузка, кг	Шаг, градусы	Панель управления	Дист. управление
Portland Tool & Die MDT-4000	США	100	0,1	Кнопки, сенсорный экран	USB, RS232, LAN
HEAD acoustics HRT I	Германия	100	0,1	Кнопки, индикатор	RS485
Four Audio ANT	Германия	1000	0,1	–	USB, RS485
Brüel&Kjær 9640-A-001	Дания	100	0,1	Кнопки, сенсорный экран	USB, RS232, LAN
Outline ET50-3D	Италия	200	0,5	Кнопки, индикатор	LAN
Norsonic Nor265	Норвегия	50	0,01	Переключатель	RS232
NTI Audio TT01	Лихтенштейн	5	–	–	RS232

По результатам анализа различных вариантов конструктивной и аппаратной реализации коммерческих и любительских поворотных устройств было принято решение разработать собственный вариант компактного поворотного стола с механизированным приводом.

Основой поворотного устройства является двухфазный шаговый двигатель NEMA17, широко применяемый в 3D принтерах, станках ЧПУ и других автоматизированных механизмах для создания вращательного движения. Крутящий момент данного двигателя составляет 4 кг·см, а угловой шаг – 1,8°±5 %. Драйвер шагового двигателя A4988 позволяет использовать пять различных разрешений шага: 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1 шаг. Один микрошаг, равный 1/16 шага, соответствует 0,1125°; таким образом, один полный оборот двигателя составляет 200 шагов или 3200 микрошагов.

Управление работой шагового двигателя осуществляется с помощью микроконтроллера Arduino Nano (рис. 1, *а*). Для обеспечения возможности использования поворотного стола без подключения к персональному компьютеру на панели управления размещены четыре кнопки, а также жидкокристаллический дисплей, на котором отображается текущая угловая позиция и установленное значение шага.

С помощью кнопок можно выполнять следующие функции:

– кнопка К1 – поворот на 1 шаг по часовой стрелке;
– кнопка К2 – возвращение к нулевой позиции;
– кнопка К3 – поворот на 1 шаг против часовой стрелки;
– кнопка К4 – вызов меню настроек, в котором с помощью кнопок К1 и К3 осуществляется установка значения шага угла поворота. Поскольку в соответствии с [3–6] измерение характеристики направленности производится, как правило, с шагом не менее 5°, минимальное значение шага угла поворота в разработанном устройстве установлено равным 1°; максимальное значение шага составляет 360°.

а б

Рис. 1. а) Структурная схема блока управления; б) внешний вид поворотного стола

Для уменьшения погрешности позиционирования расчет заданной позиции стола производится следующим образом:

$$n_i = \lfloor \alpha_i / 0{,}1125 \rceil,$$

где n_i – текущая заданная позиция в микрошагах; $\alpha_i = \alpha_{i-1} + \Delta\alpha$ – текущее значение угла поворота; α_{i-1} – предыдущее значение угла поворота; $\Delta\alpha$ – шаг угла поворота; $\lfloor \rceil$ – математическая операция округления до ближайшего целого числа. На каждом шаге двигатель совершает поворот на $\Delta n = n_i - n_{i-1}$ микрошагов, где n_{i-1} – предыдущая заданная позиция в микрошагах.

Блок управления поворотным столом размещен в корпусе размером 122×122×50 мм (рис. 1, *б*). Корпус крепится к основанию, предназначенному для закрепления стола на стойке для акустических систем; основание фиксируется на стойке тремя винтами M5. На верхней панели корпуса закреплена на стойках опорная поворотная пластина размером 95×95 мм с подшипниковыми шарами; к верхней части пластины закреплена площадка стола диаметром 175 мм. При необходимости стол может быть оснащен дополнительными сменными площадками различного диаметра (не менее 135 мм). Корпус блока управления, основание и площадка изготовлены посредством 3D печати из PETG пластика.

Питание поворотного стола осуществляется от универсального сетевого адаптера с выходным напряжением 9 В и выходным током 2 А. Разъем питания, а также разъем USB-C для подключения Arduino Nano к персональному компьютеру расположены на нижней стенке корпуса блока управления.

Измерения точности позиционирования разработанного поворотного устройства были проведены согласно [17] для пустого стола, а также с размещением на столе громкоговорителя весом 2 кг. Шаг между заданными позициями составлял 5°; каждая заданная позиция была достигнута пять раз в каждом направлении. Зависимость среднего однонаправленного позиционного отклонения от угла поворота при движении стола по и против часовой стрелки представлена на рис. 2. Результаты расчета погрешности, повторяемости и точности позиционирования приведены в табл. 2.

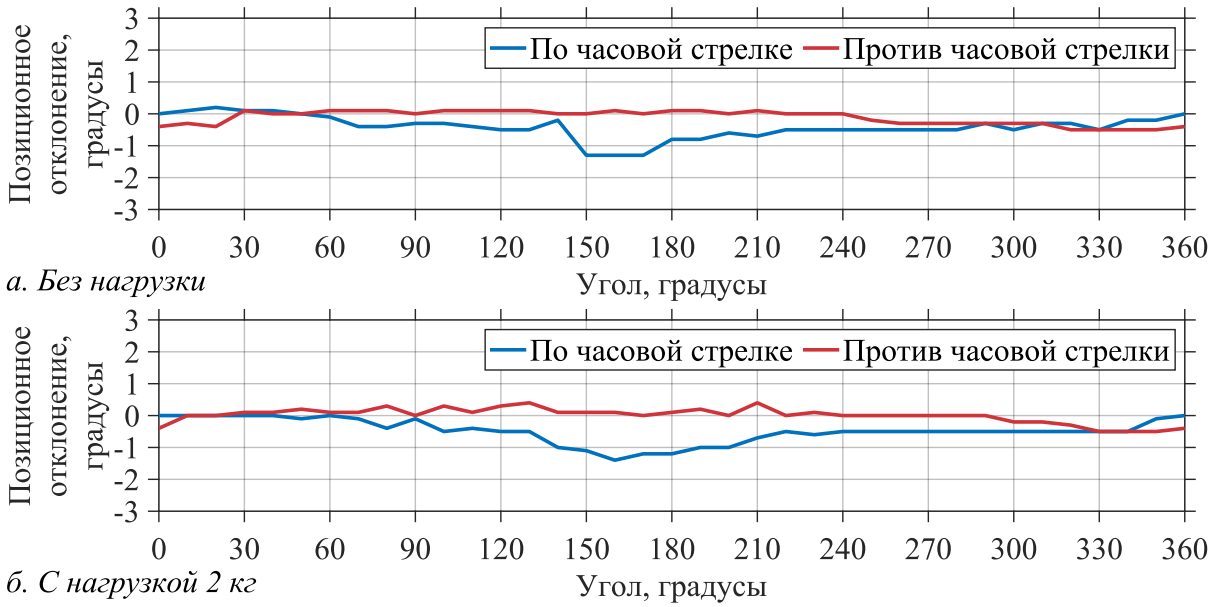


Рис. 2. Зависимость среднего однонаправленного позиционного отклонения от угла поворота: *а* – без нагрузки; *б* – с нагрузкой 2 кг

ТАБЛИЦА 2. Результаты расчета погрешности и точности позиционирования

Параметр	Ед. изм.	Нагрузка, кг	
		0	2
Зона нечувствительности *B*	град.	1,4	1,5
Двунаправленная повторяемость позиционирования *R*	град.	2,4	2,4
Двунаправленная систематическая погрешность позиционирования *E*	град.	1,5	1,8
Средняя двунаправленная погрешность позиционирования *M*	град.	0,75	0,7
Точность двунаправленного позиционирования *A*	град.	2,6	2,7

Результаты измерений подтверждают, что разработанный поворотный стол полностью отвечает требованиям [3–6] и может быть использован при проведении измерений характеристик направленности электроакустического оборудования. Использование поворотного стола с механизированным приводом позволит упростить процедуру проведения измерения характеристик направленности громкоговорителей и микрофонов, а также повысить точность результатов измерений.

В рамках дальнейшей работы планируется дополнительно оснастить блок управления магнитным датчиком положения оси ротора для осуществления контроля и подстройки позиционирования. Кроме того, для организации измерения характеристики направленности в автоматическом режиме планируется выполнить интеграцию разработанного устройства с программным обеспечением Room EQ Wizard.

Список используемых источников

1. Toole F. E. Sound Reproduction: The Acoustics and Psychoacoustics of Loudspeakers and Rooms / F. E. Toole. 3rd. ed. London: Taylor and Francis, 2018. 514 p.

2. Ferrell B. Loudspeaker Response in Real Rooms // Loudspeakers, Digital Mixers, Power Amplifiers, Software, Accessories | QSC: URL: https://www.qscaudio.com/resource-files/whitepapers/q_wp_cin_loudspeakerresponseinrealrooms.pdf (дата обращения 25.03.2025).

3. IEC 60268-5-2007 Sound system equipment – Part 5: Loudspeakers. Geneva: IEC, 2007. 58 p.

4. IEC 60268-4-2014 Sound system equipment – Part 4: Microphones. Geneva: IEC, 2014. 112 p.

5. ГОСТ Р 53576-2009 Микрофоны. Методы измерения электроакустических параметров. Москва: Стандартинформ, 2010. 50 с.

6. ГОСТ Р 53575-2009 Громкоговорители. Методы электроакустических испытаний. Москва: Стандартинформ, 2020. 48 с.

7. ANT - Turntable for Loudspeaker Directivity Measurements - Four Audio // Four Audio: URL: https://www.four-audio.com/en/products/ant-turntable/ (дата обращения 25.03.2025).

8. High-precision turntable - 9640-A-001 // Hottinger Brüel & Kjær: URL: https://www.hbkworld.com/en/products/electroacoustics/electroacoustic-hardware/high-precision-turntable-9640 (дата обращения 25.03.2025).

9. HRT I - Turntable for Orientation-Dependent Acoustic Tests // HEAD acoustics: Sound. Voice. Passion: URL: https://www.head-acoustics.com/products/data-acquisition/hrt-i (дата обращения 25.03.2025).

10. Nor265A Microphone boom – Norsonic // Innovative sound and vibration measurements systems - Norsonic: URL: https://www.norsonic.com/products/noise-sources/nor265a-microphone-boom/ (дата обращения 25.03.2025).

11. Outline - ET Series // Outline: URL: https://www.outline.it/measurement/etseries/index.html (дата обращения 25.03.2025).

12. TURNTABLE - Portland Tool & Die // Digital audio interfaces for Bluetooth, PDM and I2S -- Portland Tool & Die: URL: https://portlandtoolanddie.com/turntable/ (дата обращения 25.03.2025).

13. Turntable TT01 // NTi Audio Solutions for Audio & Acoustics: URL: https://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/NTi-Audio-Turntable-Product-Data.pdf (дата обращения 25.03.2025).

14. Ponteggia D. An Open-Source Turntable for Electro-Acoustical Devices Characterization // Audio Engineering Society Convention 151. Las Vegas: Audio Engineering Society, 2021. PP. 1–5.

15. Audiomatica Open-Source Turntable – codename “Medusa” | Audiomatica Srl // Audiomatica Srl: URL: https://www.audiomatica.com/wp/?page_id=3024 (дата обращения 25.03.2025).

16. Automated Turntable with Steppermotor: 10 Steps (with Pictures) - Instructables // Yours for the making - Instructables: URL: https://www.instructables.com/Automated-Turntable-With-Steppermotor/ (дата обращения 25.03.2025).

17. ГОСТ ISO 230-2-2016 Нормы и правила испытаний станков. Часть 2. Определение точности и повторяемости позиционирования осей станков с числовым программным управлением. Москва: Стандартинформ, 2020. 39 с.

DEVELOPING TURNTABLE FOR ELECTROACOUSTIC DEVICES DIRECTIVITY MEASUREMENT

Prasolov A., Svinyina O.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper introduces a turntable system driven by a stepper motor, controlled by a microcontroller to adjust its positioning angle over a 0–360-degree range. The motorized design simplifies the measurement procedure for assessing the directional characteristics of electroacoustic devices while enhancing the accuracy of the results.

***Key words**: turntable, stepper motor, electroacoustic measurements*

УДК 004.925
ГРНТИ 28.17.33

ФРАКТАЛЬНЫЙ ВЕЙВЛЕТ-ШУМ: ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ SEED-МАССИВА И УЗЛОВ ПАКЕТНОГО ДЕРЕВА НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Г. Г. Рогозинский[1], А. Н. Бучатский[2], К. Ю. Прохоров[2]

[1] Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН
[2] Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В работе исследуется алгоритм фрактального вейвлет-шума, основанный на двумерном пакетном дискретном вейвлет-преобразовании. Основное внимание уделено влиянию выбора узла пакетного дерева и структуры seed-массива на формирование конечного изображения. Проведен анализ различных типов seed-массивов, включая симметричные паттерны и сложные структуры, а также случайное заполнение. Установлено, что повышение уровня разложения L увеличивает локализацию и сложность изображения, усиливая взаимное влияние фильтров. Результаты работы подчеркивают важность выбора узла и структуры seed-массива для управления процессом формирования изображения. Наблюдаемые закономерности открывают перспективы для применения методов теории групп и симметрии, что может позволить глубже классифицировать поведение алгоритма и предложить новые подходы к его оптимизации. Полученные результаты могут быть использованы в задачах генерации текстур, визуализации и обработки изображений.

фрактальный вейвлет-шум, пакетное дискретное вейвлет-преобразование, seed-массив

Алгоритм фрактального вейвлет-шума используется для генерации карт высот, текстур и визуализации изображений. Он основан на двумерном пакетном дискретном вейвлет-преобразовании (ПДВП), которое позволяет разлагать изображение на коэффициенты, представляющие различные частотные компоненты. В данной работе исследуется влияние seed-массива и узлов пакетного дерева на конечное изображение. Понимание их взаимного влияния позволяет улучшить управление процессом генерации изображений и открывает новые возможности для применения алгоритма в различных областях.

При выполнении двумерного дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) исходный сигнал разбивается на четыре группы коэффициентов: аппроксимирующий (A), горизонтальный (H), вертикальный (V) и диагональный (D). Эти коэффициенты представляют собой результат свертки исходного сигнала с соответствующими вейвлет-фильтрами и последующей

децимации. В случае двумерного ПДВП процедура применяется рекурсивно, образуя пакетное дерево. Узлы дерева идентифицируются порядковым номером или буквенной комбинацией, отражающей путь разложения.

В [1] описан принцип работы алгоритма генерации шума. Алгоритм генерирует карты высот и текстуры. В нем применяются два ключевых элемента: пустое пакетное дерево и seed-массив, размер которого соответствует размеру узла на максимальном уровне разложения L.

Идентификация узла определяет путь восстановления изображения, что является ключевым для понимания влияния структуры seed-массива на конечный результат. Обозначение узла может быть следующим:

Экспериментальные результаты

Для анализа влияния характера заполнения seed-массива проводились тесты с различным заполнением seed-массива: случайные значения, паттерны, группировка значений, границы и углы. Уровень разложения ограничивался $L = 2$, что соответствует $N = 4^L = 16$ узлам пакетного дерева. Размер изображения на выходе алгоритма – 32×32.

Поскольку отображение всех полученных результатов нецелесообразно, в дальнейшем представлены только характерные особенности, отмеченные авторами.

1. Группировка значений. В данной серии тестов seed-массив заполнялся следующим образом: половина значений seed-массива принимала значение 1, а другая половина – 0. Вариации расположения значений включали:

– Левая/правая половина массива.
– Верхняя/нижняя половина массива.
– Чередование строк или столбцов.

В ходе проведения тестов было обнаружено, что независимо от характера группировки значений seed-массива, результат работы алгоритма представляет собой идентичное изображение с точностью до сдвига или поворота на 90 градусов.

2.2. Паттерны. В качестве seed-массивов использовались различные паттерны, такие как шахматная доска, окружности, круг и спирали, часть которых представлены на рисунке 1.

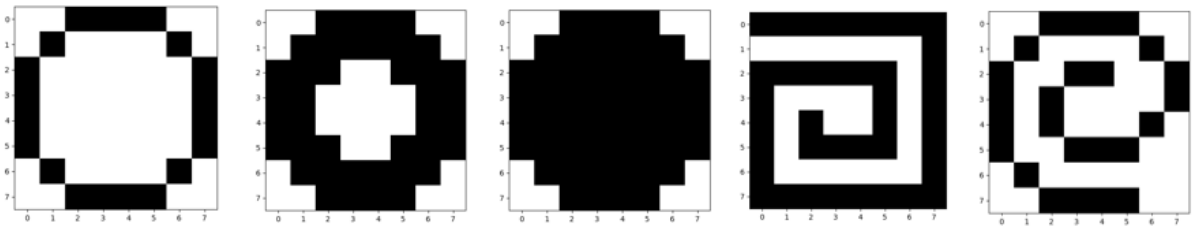


Рис. 1. Примеры применяемых паттернов (слева направо): окружность толщина 1, окружность толщина 2, круг, простая спираль, сложная спираль

Симметричные паттерны приводят к предсказуемым изменениям, таким как сдвиги и повороты, в то время как сложные паттерны демонстрируют более разнообразные структуры. Например, шахматная доска и окружности показывают повторяющиеся структуры с поворотом на 90 градусов и отражением. Сложные спирали, напротив, создают уникальные изображения, которые не могут быть получены простыми трансформациями.

3.3. Случайное заполнение. Тесты с случайным заполнением seed-массива подтвердили тенденции сдвигов, поворотов и отражений. Это указывает на то, что случайное распределение значений также влияет на конечное изображение, хотя и менее предсказуемо.

4.4. Границы и углы. Проверка границ и углов не выявила новых особенностей, которые не были бы описаны ранее. Это подчеркивает универсальность выявленных закономерностей.

Симметрия и постоянная составляющая

Симметричные seed-массивы остаются неизменными при поворотах или отражениях. Это позволяет классифицировать их по группам симметрии, что может быть полезно для дальнейшего анализа и оптимизации алгоритма.

На рисунке 2 представлены постоянные составляющие, образованные при заполнении seed-массива только единицами, для $L = 1$. Это структура появляется при единичном выполнении операции обратного ПДВП. При повторении операции обратного ПДВП структура этих постоянных составляющих усложняется. Количество уникальных постоянных составляющих напрямую зависит от максимального уровня разложения L – чем он выше, тем больше уникальных постоянных составляющих будут образовано.

Выявлено, что постоянная составляющая в выходных изображениях не может быть полностью удалена вычитанием. Это указывает на наличие фундаментальных структур, характерных для каждого узла пакетного дерева.

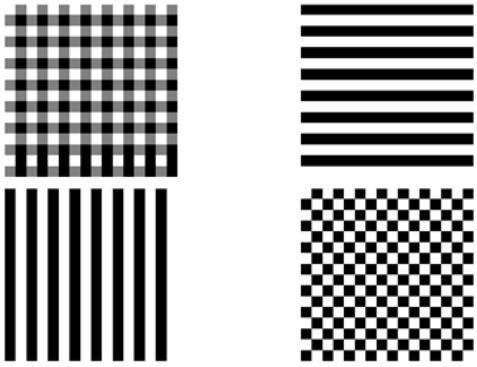


Рис. 2. Возможные структуры на выходе алгоритма, при заполнении seed-массива единицами

Влияние уровня разложения

Повышение уровня разложения L увеличивает локализацию и сложность изображения. Это связано с уменьшением размера вейвлет-фильтров и усилением трансформаций при обратном ПДВП. Увеличение L приводит к более сложным и детализированным изображениям, что открывает новые возможности для применения алгоритма в задачах генерации текстур и визуализации.

На рисунке 3 представлены результаты работы алгоритма для различных уровней разложения L = 2, 3, 5, 7 при использовании одного и того же seed-массива.

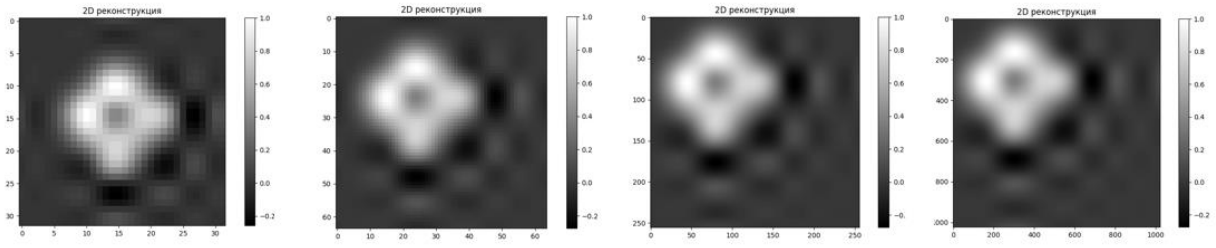


Рис. 3. Примеры результата работы алгоритма при использовании одинакового узла и seed-массива, но разных L (слева направо: L = 2,3,5 и 7)

Влияние вейвлет-фильтров

В данной работе использовались вейвлет-фильтры Добеши. В частности, эти фильтры обеспечивают хорошую локализацию как в временной, так и в частотной областях, что позволяет эффективно выделять детали изображения [2]. Однако, как было отмечено в [3-4], фильтры Добеши не иде-

альны, и при обратном ПДВП часть сигнала может попадать в соседние частотные полосы. Это приводит к появлению артефактов в изображении, которые могут быть интерпретированы как постоянная составляющая.

Использование в алгоритме других вейвлет-фильтров, таких как Хаар, койфлетов или симлетов, может дать дополнительные сведения о поведение алгоритма.

Обсуждение

Результаты исследования показывают, что симметрия seed-массива влияет на предсказуемость изменений в изображении. Постоянная составляющая присутствует во всех выходных изображениях, что подчеркивает важность выбора узла и структуры seed-массива для управления процессом формирования изображения. Увеличение уровня разложения L повышает локализацию и сложность изображения, что может быть использовано для создания более детализированных и разнообразных текстур.

Заключение

В данной работе проведено исследование алгоритма генерации шума основанного на ПДВП, которое показало важность выбора seed-массива и узлов пакетного дерева для управления процессом формирования изображения. Результаты подчеркивают значимость симметрии и уровня разложения, а также наличие постоянной составляющей в выходных изображениях. Эти выводы могут быть использованы для улучшения алгоритма и его применения в различных областях, таких как генерация текстур, визуализация и обработка изображений. Будущие исследования должны быть направлены на дальнейшее изучение влияния различных параметров и разработку новых методов оптимизации.

Список используемых источников

1. Бучатский А. Н., Прохоров К. Ю., Рогозинский Г. Г. К вопросу применения пакетного дискретного вейвлет-преобразования для генерации ландшафтного шума // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIII Международная научно-техническая и научно-методической конференция: сб. науч. ст. в 4-х т.. СПб.: СПбГУТ, 2024. Т. 3. С. 74-78.

2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам; [пер. с англ.]. Ижевск, 2001. 464 с. 9. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике. М.: СОЛОН-Р, 2002. 448 с. 10.

3. Lee P. Wavelet Filter Banks in Perceptual Audio Coding, Master Thesis, University of Waterloo, Canada, 2003.

4. Бучатский А. Н., Прохоров К. Ю. О влиянии селективности фильтров добеши на распределение шумов квантования коэффициентов вейвлет-преобразования // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методической конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 97-101.

FRACTAL WAVELET NOISE: INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SEED ARRAYS AND PACKET TREE NODES ON IMAGE FORMATION

Rogozinsky G., Buchatsky A., Prokhorov K.
Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper investigates an algorithm for fractal wavelet noise based on a two-dimensional packet discrete wavelet transform. The primary focus is on the influence of the choice of packet tree node and the structure of the seed array on the formation of the final image. An analysis of various types of seed arrays, including symmetric patterns and complex structures, as well as random filling, has been conducted. It has been established that increasing the decomposition level L enhances the localization and complexity of the image, intensifying the mutual influence of filters. The results highlight the importance of selecting the node and the structure of the seed array to control the image formation process. The observed patterns open up prospects for applying group theory and symmetry methods, which could allow for a deeper classification of the algorithm's behavior and suggest new approaches to its optimization. The findings can be applied to texture generation, visualization, and image processing tasks.

Key words: *fractal wavelet noise, packet discrete wavelet transform, seed array*

УДК 654.164
ГРНТИ 49.43.29

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ДЕКАМЕТРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

А. И. Рыбаков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

На протяжении длительного времени системы декаметровой связи проявляют ряд значительных недостатков, таких как низкая скорость передачи данных и ограниченная помехоустойчивость. Эти проблемы обусловлены физико-геометрическими характеристиками ионосферного канала связи, включая анизотропные свойства ионосферы, которые непосредственно влияют на качество радиосигналов. Структурные особенности ионосферы Земли, а также сложности, возникающие при распространении радиоволн в этом слое атмосферы, затрудняют разработку эффективных технических и научных решений для повышения помехоустойчивости систем связи. В результате проведенного исследования удалось определить задачи по помехоустойчивости передачи информации через ионосферный канал для современных систем декаметровой радиосвязи.

декаметровый диапазон, ионосферный канал связи, помехоустойчивость, электромагнитная волна, переотражение волн, многопараметрическая адаптация

Чтобы гарантировать надежную передачу данных на больших пространствах, применяются многообразие систем и устройств для связи, объединенных в мощные информационные сети на территории страны. В этом контексте, радиосвязь в декаметровом диапазоне (ДКМ) с волновым расположением от 100 до 10 метров особо выделяется своей значимостью как для внутренних, так и для международных коммуникационных процессов, охватывая такие направления, как зональная, мобильная и управленческая связь, применяемая как в общем, так и в специализированных секторах. Эта технология предоставляет обширный набор услуг, включая основную связь, радиопередачи, выделенные канали для наземных станций спутниковой связи, а также связь между наземными и воздушными объектами в авиации, морские коммуникации между берегом и судном, а также связь между кораблями в военно-морском флоте и радиосвязь, используемую Гидрометеослужбой [0]. Важно отметить, что в диапазоне ДКМ радиосвязь часто обозначается как коротковолновая (КВ), поскольку волны длиной от 10 до

100 метров традиционно считаются короткими. В соответствии с международными стандартами данная связь классифицируется как высокочастотная (ВЧ) [0]. На протяжении многих лет существования системы ДКМ существуют мнения о том, что новейшие технологии связи могут в конечном итоге заменить традиционные методы. Тем не менее, автоматизированные сети связи сегодня часто строятся на основе высокоэффективных кабельных и радиорелейных линий [0]. Проблемы связи в малонаселенных, удаленных или труднодоступных регионах способны быть эффективно решены с применением спутниковых систем связи, которые обеспечивают глобальное покрытие и высокую пропускную способность. Однако вопрос о полном вытеснении декаметровых линий радиосвязи в ближайшем будущем практически не поднимается ни в одной стране мира. Напротив, несмотря на бурное развитие микроволновых средств дальней связи в последние годы, возрастает интерес к технической реконструкции декаметровых линий радиосвязи [0]. Это основано на адекватной оценке ее технического потенциала, экономической эффективности и стратегической роли, как важного резерва. В условиях значительной ионизации атмосферы декаметровые радиосистемы связи могут сталкиваться с аналогичными проблемами, что и другие радиотехнические средства. Однако стоит отметить, что они обладают большей способностью к адаптации и восстанавливаются быстрее [0]. Современный этап развития декаметровых линий радиосвязи характеризуется значительным усовершенствованием аппаратных средств, направленных на оптимизацию их работы в изменяющихся условиях ионосферных каналов передачи информации. Кроме того, наблюдается коренная трансформация технических ресурсов и методов эксплуатации [0, 0]. Ключевыми направлениями в области ионосферной радиосвязи являются повышение помехоустойчивости систем, снижение уровня битовых ошибок, а также высокоэффективная адаптация к динамическим изменениям условий распространения радиоволн и воздействия помех [0, 0]. Ключевым элементом реализации поставленных задач является активное использование микропроцессорных систем, которые способствуют управлению техническими устройствами и их составляющими, а также повышают эффективность передачи данных в сетях. Эти системы играют критическую роль в функционировании адаптивных систем, которые позволяют оперативно приспосабливаться к переменчивым условиям окружающей среды. В связи с тем, что декаметровая радиосвязь восприимчива к возмущениям в ионосфере и загрязнена сигналами от помеховых источников, она требует высокого уровня

надежности, соответствия стандартам электромагнитной совместимости и рационального распределения частотного спектра. В материалах исследования авторов [0] Brandon T. Hunt, David B. Haab, Thomas Cameron Sego и Tom V. Holschuh показана возможность доработки известной модели К. Ватерсона для применения технологии многоантенного приема в условиях многолучевого распространения, специфичных для декаметрового радиоканала. Кроме того, в контексте актуальности темы исследования рассматриваются экспериментальные работы российских ученых по управлению эквалайзерами на основе нейронных сетей с обучением в многолучевом радиоканале, выполненные на физическом факультете МГУ имени М. В. Ломоносова Д. Р. Валиуллиным и П. Н. Захаровым [0].

В числе примеров применения систем декаметровой радиосвязи отечественными пользователями выделяется функционирование радиосети в одном из подразделений концерна «Газпром» [0], а также инициативный проект, презентованный на выставке «СвязьЭкспокомм» [0, 0], под названием «Система КВ радиосвязи для дальних и ближних зон». В сотрудничестве с компанией PSC, Inc. и отечественными производителями был разработан высокоуровневый автоматизированный комплекс для мобильной коммерческой радиосвязи, который функционирует на расстояниях до 2000 и 500 километров. Эта система гарантирует автоматизированную передачу данных в сети, способна подключать до 32 или 128 абонентов и обеспечивает полудуплексную двустороннюю связь между стационарными и мобильными устройствами. Она поддерживает разнообразные типы связи, включая аналоговые и цифровые телефонные линии (с скоростью от 300 до 4800 бит в секунду), обмен данными между машинами с аналогичными скоростями, передачу телеграфных сообщений и одновременную пересылку сообщений ограниченного объема в другие сети для всех участников. Для поддержания связи применяются многоуровневые адаптирующиеся протоколы, которые регулируют частоту, мощность, модуляцию и кодировку. Комбинация различных кодовых сигналов, эффективная система контроля канала и дополнительная радиосеть обеспечивают автоматическое настроение трех уровней параметров под изменяющиеся условия ионосферной радиосвязи. Технология предоставляет современные сервисы для передачи мультимедийной информации и предоставляет возможность подключения к стандартным международным сетям обмена данными, с обеспечением защиты информации с помощью криптографических методов. Способы передачи

могут включать одночастотные, параллельные или последовательные многочастотные сигналы, в то время как основной тип модуляции характеризуется как частотная модуляция. В системах радиосвязи, которые обладают многопараметрической адаптацией, помимо адаптации по частоте, осуществляется регулирование различных параметров радиосигнала. К числу этих параметров относятся скорость передачи данных, уровень избыточности кодирования, тип задействованных сигналов, конфигурация антенн, формы диаграмм направленности антенных систем, уровни мощности у передатчиков и других энергетических элементов систем [0].

На рисунке 1 [0] представлено множество характеристик известных отечественных и зарубежных адаптивных систем связи. Проведенный анализ данных, представленных на рисунке 1 [0], указывает на активное развитие адаптивных систем декаметровой радиосвязи, ориентированных на повышение скорости передачи информации с использованием высокоскоростных модемов OFDM и улучшение помехоустойчивости связи за счет внедрения механизмов подстройки параметров радиолинии, многопараметрической адаптации.

Параметры	Сердолик	Пирс	Р-016В	Поиск (УПС 4,8 КВ)	Codan 2110M	Tadiran HF-6000	MESA
Вид работы	Телеграфия, Телефония	Телеграфия, Телефония, Данные	Телеграфия, Данные	Данные	Телеграфия, Телефония, Данные	Телеграфия, Телефония, Данные	Данные, Телефония
Скорость	200, 1200, 2400	300-9600	150	150-4800	75-9600	75-9600	600
Вид вызывного сигнала	MFSK 200 Бод	DPSK 200 Бод	FSK	OFDM	8DPSK, 8FSK (3G ALE, CALM)	8DPSK, 8FSK (3G ALE)	8FSK (2G ALE)
Вид информационного сигнала	MFSK, OFDM	OFDM	MFSK, DPSK	OFDM	BPSK, QPSK, PSK8, QAM16, QAM 32, QAM64	BPSK, QPSK, PSK8, QAM16, QAM 32, QAM64, OFDM (39tone) MFSK	8DPSK
Адаптация по частоте	+	+	Две ступени адаптац.	+	+	+	+
Адаптация по скорости	+	+	-	+	+	+	-
Зондирование	+	при установл. и ведении связи	-	-	При установлении связи	+	+
Вид зондирования		пассивное	пассивное		Активное		

Рис. 1. Характеристики адаптивных систем связи декаметрового диапазона [0]

Представленный в работе [0] алгоритм адаптивной работы радиолинии основан на прежних принципах адаптации радиолинии под изменяющиеся условия прохождения радиосигнала, при этом, к адаптивным параметрам добавляется возможность изменения длины преамбулы, используемой для настройки эквалайзера на приемной стороне. В ходе моделирования декаметрового радиоканала по методике Международного союза электросвязи, полученные результаты показывают возможность влияния на уровень битовых ошибок (BER) путем изменения длины преамбулы. Опираясь на данные расчета [0], полученные при скорости 9,6 кбит/с длина преамбулы (50 бит) имеет влияние на вероятность битовых ошибок с 10^{-1} до 10^{-5}, для наименее подверженной фазовым искажениям модуляции BPSK, что равносильно повышению отношения сигнал/шум с 17 до 23 дБ. Выигрыш от изменения длины преамбулы составляет 6 дБ.

Таким образом, появляется возможность адаптироваться под изменяющиеся условия прохождения радиосигнала не только путем изменения, к примеру, индекса модуляции для фазовой манипуляции и ширины полосы сигнала, но и длиной преамбулы. Если, в процессе работы радиоканала, происходит ухудшение ОСШ на приемной стороне, вместо уменьшения полосы сигнала на передающей стороне (т.е. повышения энергетики) может оказаться более рациональным снизить информационную часть передаваемого пакета информации, заместив ее преамбулой, увеличенной длины, используя модель управления радиолинией ДКМ радиосвязи с вариативной преамбулой.

Список используемых источников

1. Воробьев О. В. Разработка мобильной системы информационного обеспечения с использованием каналов метеорной связи / Воробьев О.В., Рыбаков А.И. // Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании. VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2016. с. 177.

2. Воробьев О. В. Вариант реализации двунаправленной связи в смс (системе метеорной связи). Описание программно-аппаратного комплекса смс / Воробьев О.В., Рыбаков // VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2017., с. 128.

3. Айзенберг Г. З. Коротковолновые антенны [под.ред. Г. З. Айзенберга]: монография / Айзенберг Г. З., Белоусов С. П., Журбенко Э. М., Клигер Г. А., Кукрашов А. Г. М.: Радио и связь, 1985. 536 с.

4. Черный Ф. Б. Распространение радиоволн: монография / Ф. Б.Черный. М., Сов. Радио, 1972. 464 с.

5. Грудинская Г. П. Распространение радиоволн: монография / Г. П. Грудинская. М.: Высшая школа, 1975, 280 с.

6. Кротов Р. Е., Рыбаков А. И. Исследование и анализ основных качественных характеристик модели радиоканала с вариативной преамбулой // XI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2022. С. 245-249.

7. Кротов Р. Е., Рыбаков А. И. Методика расчета уровня сигнала от КВ-передатчика в точке приема // Информатизация и связь. 2019. № 2. С. 97-102.

8. Воробьев О. В., Кротов Р. Е., Рыбаков А. И. Моделирование двунаправленной структуры адаптивного эквалайзера на основе алгоритма Калмана // XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 147-151.

9. Валиуллин Д. Р., Захаров П. Н. Экспериментальные исследования эквалайзера на основе нейронных сетей с обучением в многолучевом радиоканале // Журнал радиоэлектроники, ISSN 1684-1719, № 12. 2017.

10. Дулькейт И. В., Зачатейский Д. Е., Землянов И. С., Максимов А. А., Юрьев А. Н. Адаптивные системы ПВ/КВ радиосвязи, как способ повышения безопасности мореплавания // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. 2024. № 2. С. 80–87.

11. Farhan M. M., Hameed A., Combination of LMS and RLS Adaptive Equalizer for Selective Fading Channel// Nakkash.European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X. 2010. Vol. 43. № 1. PP. 127–137.

12. Головин О. В., Простов С. П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи // Под редакцией профессора О. В. Головина. Горячая линия-Телеком. М., 2006.

SETTING THE TASK OF INCREASING THE NOISE IMMUNITY OF MODERN DECAMETER RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

Rybakov A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Over the years, decameter communication systems have demonstrated a number of significant weaknesses, such as low data transfer rates and insufficient noise immunity. This is due to the fact that the physical properties of the communication channel, namely the anisotropy of the ionosphere, have a direct impact on the quality of communication. Based on this, the structure of the Earth's ionosphere, as well as the difficulties that arise in the propagation of signals in it, do not provide opportunities for the development of effective technical and scientific solutions. As a result of the conducted research, it was possible to determine the problems of noise immunity of information transmission through the ionospheric channel for modern decameter radio communication systems.

Key words: *decameter radio communication, ionospheric channel, noise immunity, electromagnetic wave, re-reflection*

УДК 621.391.64
ГРНТИ49.29.14

ЗАВИСИМОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ОТ СТЕПЕНИ ЛЕГИРОВАНИЯ СЕРДЦЕВИНЫ ДИОКСИДОМ ГЕРМАНИЯ

А. Н. Сергеев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

В связи с широким внедрением систем со спектральным разделением каналов появляются новые оптические волокна с разным химическим составом. При этом возникают новые факторы, влияющие на передачу сигналов через изменение коэффициента затухания и изменения дисперсионных параметров, которые нельзя не учитывать в инженерных расчетах проектируемой или реконструируемой линии связи. При выполнении расчетов нужно учитывать, помимо традиционных факторов, и скорость распространения разных длин волн, определяющую способность системы передавать максимально большие потоки информации.

дисперсия, скорость передачи, химический состав стекол, спектральное разделение каналов

Дальнейшее развитие технологических процессов изготовления оптического волокна предполагает усложнение химического состава как сердцевин, так и светоотражающих оболочек. В настоящее время при изготовлении оптических волокон не используется естественный кремниевый диоксид из-за присутствия больших концентраций окислов металлов, которые увеличивают коэффициент затухания до больших значений. Поэтому в процессе изготовления окислы удаляют, а для придания нужного коэффициента преломления стекло легируют двуокисью германия. Таким образом, получаются волокна с разными оптическими характеристиками, которые связаны с процентом легирования (соотношения двуокиси германия и диоксида кремния) стекла. В дальнейшем предполагается использование и других легирующих присадок, улучшающих передаточные характеристики волокон. Сегодня в телекоммуникациях чаще всего применяются оптические волокна с концентрацией двуокиси германия от 3,1 % до 13,5 % [1].

Ослабление сигнала

Рассмотрим, как влияет изменение процентного содержания диоксида германия на затухание электромагнитных волн при их распространении вдоль оптического волокна.

Известно, что на световую волну влияет затухание в ультрафиолетовом диапазоне, инфракрасном диапазоне и релеевское рассеяние. Окончательный коэффициент затухания представляет собой сумму частичных затуханий вышеуказанных составляющих:

$$\alpha = \alpha_{\text{расс.}} + \alpha_{\text{уф}} + \alpha_{\text{ик}} + \alpha_{\text{каб}},$$

Наибольший вклад при передаче в ближнем инфракрасном диапазоне вносит релеевское рассеяние, которое зависит не только от длины волны передаваемого света, но и от спектрально зависимого показателя преломления.

Отношение GeO_2/SiO_2, наиболее часто применяемое в германосиликатныхоптических волокнах составляет следующие пропорции (в процентах):

1. 13,5 %/86,5 %;
2. 7,0 %/93,0 %;
3. 4,1 %/95,9 %;
4. 3,5 %/96,5 %;
5. 3,1 %/96,9 %.

В ослаблении света в рабочих диапазонах систем DWDM основной вклад вносит рассеяние Рэлея, которое связано с показателем преломления оптического волокна, разным для разных длин волн.

Формула для расчета релеевского рассеяния [2] имеет следующий вид:

$$\alpha_{\text{расс}}(\lambda) = 4{,}34 \cdot \frac{8 \cdot \pi^3}{3 \cdot \lambda^4} \cdot (n^2 - 1) \cdot \beta \cdot k \cdot T \cdot 10^3$$

Где n – показатель преломления сердцевины; k = 1,38·10^{-23}Дж/К – постоянная Больцмана; T = 1500 К – температура затвердевания стекла при вытяжке; β =8,1·10^{-11}м^2/Н – коэффициент сжимаемости стекла (для кварца).

Показатель преломления сердцевины можно рассчитать через трехчленную формулу Селлмейера, дающую хорошие результаты в инфракрасном диапазоне:

$$n(\lambda) = \sqrt{1 + \lambda^2 \cdot \sum_{i=1}^{3} \frac{A_i}{\lambda^2 - \mu_i^2}}$$

Расчет затухания в стандартном оптическом волокне (см. таблицу 1) для частотного диапазона DWDM (1530,3341÷1624,8914нм) с учетом релеевских потерь, кабельных потерь, а также затухания в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах дает следующие результаты:

ТАБЛИЦА 1. Собственное затухание оптического излучения разных длин волн из сетки стандартного частотного плана в волокнах с разным соотношением GeO_2/SiO_2

Отношение GeO_2/SiO_2	Длина волны, нм					
	1530.3341	1551.7208	1553.3288	1585,3667	1623.1319	1624.8914
	Коэффициент затухания, дБ/км					
13,5/86,5	0.176	0,177	0,178	0,187	0,226	0,229
7,0/93,0	0,144	0,144	0,144	0,153	0,186	0,188
4,1/95,9	0.142	0.142	0,143	0,152	0,184	0,187
3,5/96,5	0,142	0,142	0,142	0,142	0,184	0,187
3,1/96,9	0,132	0,133	0,133	0,143	0,176	0,178

Если добавить потери на микроизгибах, то получатся значения коэффициента затухания, представленные в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Затухание оптического излучения разных длин волн из сетки стандартного частотного плана в волокнах с разным соотношением GeO_2/SiO_2 с учетом потерь на микроизгибах*

Отношение GeO_2/SiO_2	Длина волны, нм					
	1530.3341	1551,7208	1553,3288	1585,3667	1623,1319	1624,8914
	Коэффициент затухания, дБ/км					
13,5/86,5	0,231	0,230	0,229	0,240	0,279	0,282
7,0/93,0	0,197	0,197	0,197	0,206	0,239	0,241
4,1/95,9	0,195	0,195	0,196	0,205	0,237	0,240
3,5/96,5	0,195	0,195	0,195	0,195	0,237	0,240
3,1/96,9	0,185	0,186	0,186	0,196	0,229	0,231

*При расчетах потерь на микроизгибах учитывались следующие параметры: один микроизгиб на длине 1 км; диаметр сердцевины (d) волокна 9 мкм; высота микроизгиба ($0{,}05 \cdot d$) мкм; числовая апертура 0,12.

В графическом виде полученные величины изображены на рис. 1.

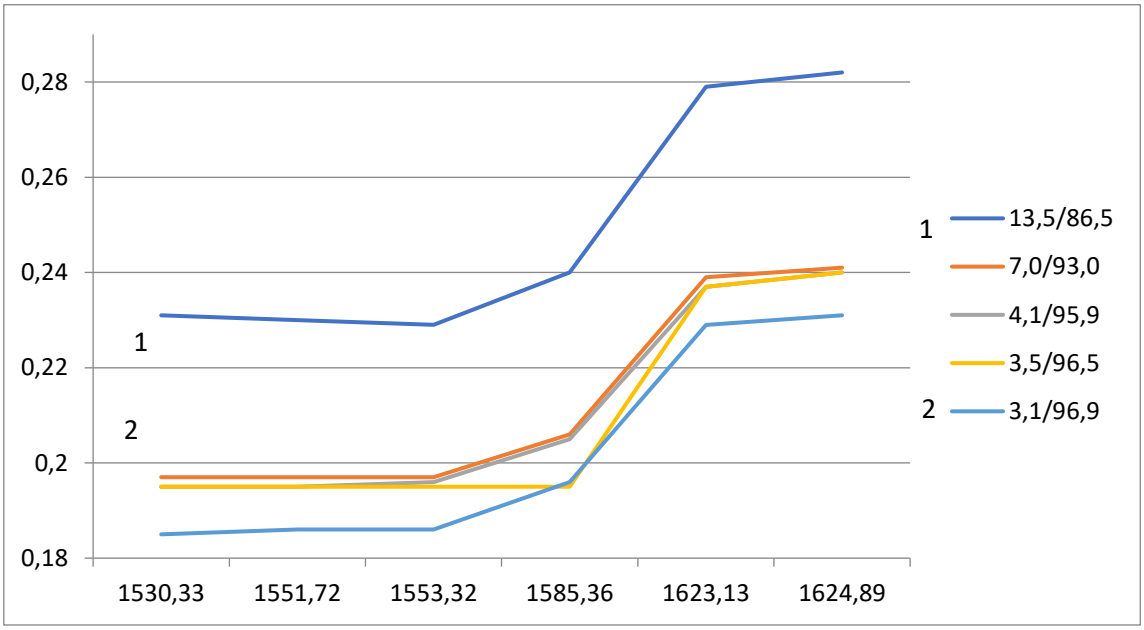


Рис. 1. Зависимость коэффициентов затухания от длины волны для стекол с разным соотношением отношением GeO_2/SiO_2

Из графика видно, что наибольшие потери вносят оптические волокна с отношением двуокиси германия к двуокиси кремния 13,5/86,5. Остальные волокна имеют примерно одинаковый коэффициент затухания на одинаковых длинах волн. Оптические волокна с отношением 3,1/96,9 обладают наименьшим коэффициентом затухания в широком диапазоне длин волн.

Дисперсионные характеристики

Дисперсия в оптическом волокне напрямую связана со значением показателя преломления и, соответственно, со скоростью распространения монохроматической волны [1]. При сильном разбросе величин коэффициента преломления дисперсионные характеристики оптического волокна ухудшаются и оказывают влияние на максимально допустимую скорость распространения сигналов [3]. В случае передачи многоканального сигнала создается дисбаланс скоростей перемещения отдельных каналов. Связь показателей преломления и длины волны для каждого из рассматриваемых стекол представлена в Таблице 3, а в графическом виде – на рис. 2. Показатели преломления рассчитывались по трехчленной формуле Селлмейера, дающей достаточно точные результаты в ближнем инфракрасном спектральном диапазоне [4, 5].

ТАБЛИЦА 3. Зависимость показателей преломления от состава стекла

Отношение GeO_2/SiO_2	Длина волны, нм					
	1530.3341	1551,7208	1553,3288	1585,3667	1623,1319	1624,8914
	Величина показателя преломления					
13,5/86,5	1,466	1,466	1,466	1,466	1,465	1,465
7,0/93,0	1,456	1,455	1,455	1,455	1,455	1,455
4,1/95,9	1,451	1,450	1,450	1,450	1,449	1,449
3,5/96,5	1,450	1,449	1,449	1,449	1,449	1,449
3,1/96,9	1,449	1,449	1,449	1,448	1,448	1,448

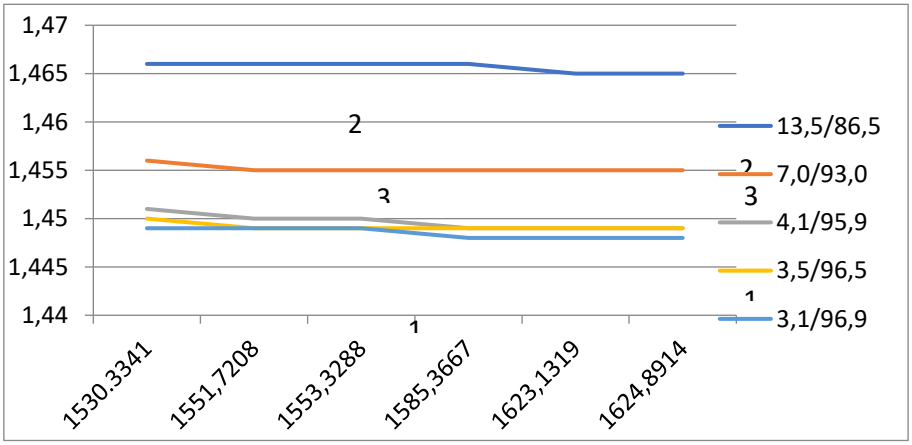


Рис. 2. Зависимость коэффициентов преломления от длины волны для стекол с разным соотношением отношением GeO_2/SiO_2

Стекло с отношением двуокиси германия к двуокиси кремния 3,1 % / 96,9 % обладает наименьшими значениями показателя преломления во всем диапазоне длин волн. Вследствие этого скорость распространения света в таком волокне наиболее высокая. Разность скоростей распространения на крайних длинах волн составляет $104 \cdot 10^3$м/с.

Вместе с этим, большой интерес для развития этого направления вызывают кварцевые стекла с высоким содержанием фторида, с потерями на затухание даже ниже, чем у современных высокоэффективных волокон. Например, экспериментальные волокна, изготовленные из стекла, содержащего от 50 до 60 процентов фторида циркония (ZrF_4), имеют затухание в диапазоне от 0,005 до 0,008 дБ/км, тогда как более ранние волокна часто имели потери примерно 0,2 дБ/км [6]. Помимо использования более совершенных материалов, производители оптических волокон экспериментируют с усовершенствованием технологического процесса. Волокна можно

вытягивать из заготовки со скоростью от 10 до 20 метров в секунду. Из одной заготовки можно вытягивать одномодовые волокна длиной от 2 до 25 километров. Надо заметить, что частота переоснащения технологического процесса компаний, производящих оптические волокна, составляет 18 месяцев. Это частично обусловлено растущим использованием оптических волокон в компьютерных сетях, а также растущим спросом на эту технологию на растущих международных рынках, таких как Восточная Европа, Южная Америка и Дальний Восток [6].

Список используемых источников

1. Иванов В. С., Полякова Е. В., Резников Б. К., Сергеев А. Н. Оценка длины дисперсионного разбегания оптических сигналов в стеклах с разным химическим составом. // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 1. С. 505–509.

2. Лихачев М. Е., Бубнов М. М., Семенов С. Л., Швецов В. В., Хопин, В. Ф., Гурьянов А. Н., Дианов Е. М. Механизмы оптических потерь в световодах с высокой концентрацией оксида германия // Квантовая электроника, 2003. № 33:7. С. 633–638.

3. Ларин Ю. Т. Стекла для изготовления оптических волокон и кабелей. URL: http://www.hyperline.ru/learn/teoriya-i-praktika-montazha-kabelnykh-sistem/stekla-dlya-izgotovleniya-opticheskikh-volokon-i-kabeley/

4. Specifying which glass catalogs to use URL: //http://glassbank.ifmo.ru/rus/help.php#disp_formula

5. Introduction to Glass Properties. URL: http://oharacorp.com/o2.html.

6. Optical Fiber. URL: //https://www.madehow.com/Volume-1/Optical-Fiber.html.

Статья представлена зав. каф. ОКСС СПбГУТ, к.т.н., доцентом Былиной М. С.

DEPENDENCE OF OPTICAL CHARACTERISTICS OF SILICON OPTICAL FIBER ON THE DEGREE OF DOPING OF THE CORE WITH GERMANIUM DIOXIDE

Sergeev A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Due to the widespread introduction of systems with spectral channel separation, new optical fibers with different chemical compositions are emerging. At the same time, new factors arise that affect the transmission of signals through changes in the attenuation coefficient and changes in dispersion parameters, which cannot be ignored in engineering calculations of the projected or reconstructed communication line. When performing calculations, it is necessary to take into account, in addition to traditional factors, the speed of propagation of different wavelengths, which determines the ability of the system to transmit the largest possible streams of information.

Key words: *dispersion, transmission rate, chemical composition of glasses, spectral channel separation*

УДК 621.391
ГРНТИ 49.03.03

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ И БЛОКА ПРОВЕРОЧНЫХ СИМВОЛОВ ПО ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ

А. Д. Синюк, О. А. Остроумов

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В процессе исследования вопросов передачи информации по каналам связи большой интерес представляет собой оценка информационной эффективности передачи по отдельным каналам связи информации и данных, которые представляют собой некоторый функционал от самой информации. Это особо актуализируется при исследовании систем информационной безопасности, где в качестве информации могут выступать парольная информация, ключи шифрования, коды аутентификации и другая критически важная информация, а роль информационного функционала могут играть данные представляющие собой корректирующие блоки проверочных символов помехоустойчивого кода или хеш-образ информации и т.д. В работе на основе методологии теории информации производится оценка информационной эффективности передачи по отдельным каналам связи информации и данных, позволяющая определить пути уменьшения временных затрат на раздельную передачу.

корреспондент связи, параллельные каналы связи, информационная эффективность раздельной параллельной передачи информационного блока и блока проверочных символов кодового слова помехоустойчивого кода, общая пропускная способность системы параллельных каналов

Постановка задачи

Исследуем ситуацию по передаче информации по системе каналов. Имеются корреспонденты: *A* и *B*. В направлении от *A* к *B* имеется первый канал связи (ПК), который опивается моделью двоичного симметричного канала связи (ДСК) с вероятностью ошибки p_m [1]. Дополнительно в направлении от*A* к *B* имеется параллельный к ПК идеальный канал связи (т.е. канал связи без ошибок), который определим как второй канал (ВК). Описанная совокупность представляет собой систему каналов для раздельной передачи информации.

По этим каналам корреспонденту связи *A* требуется передать к *B* информационную последовательность X^N длиной N. Для этого *A* передает X^N по ПК. Корреспондент *B* на выходе ПК принимает последовательность

Y^N длиной N двоичных символов. Затем *A,* с помощью выбранного конструктивного помехоустойчивоголинейного кода [2], находит блок проверочных символов к информационной последовательности X^N, который представляет собой двоичную последовательность длиной r. После этого корреспондент *A* посылает проверочные символы к *B* по бесшумному ВК. Корреспондент *B* исправляет ошибки в Y^N, используя проверочные символы и конструктивный алгоритм декодирования для выбранного помехоустойчивогокода.

Требуется оценить информационную эффективность раздельной параллельной передачи информационного блока и блока проверочных символов кодового слова помехоустойчивого кода.

Основная часть

В [3, 4] показано, что, если вместе с информационными символами длиной N двоичных символов по ДСК каналу с шумом передаются символы проверки длиной r бит, то число символов проверки r удовлетворяет неравенству:

$$r \geq (N + r)h(p_m), \ (1)$$

где $h(p_m)$ – энтропийная функция ДСК [1, 4]: $h(p_m) = p_m \, log_2(p_m) + (1 - p_m) \, log_2(1 - p_m)$.

В вышеописанной постановке задачи предполагается, что блок проверочных символов длиной r передается по ВК. В этом случае число проверочных символов устанавливается утверждением.

Утверждение 1. Пусть информационные символы $(N + r, N)$ – помехоустойчивого кода передаются по двоичному симметричному каналу ПК с вероятностью ошибки p_m, а r проверочных символов – по бесшумному каналу ВК. Тогда при $N \to \infty$, вероятность ошибочного декодирования $P_e \to 0$, если

$$r \geq Nh(p_m). \quad (2)$$

Доказательство. Информационные символы передаются по ПК ДСК с пропускной способностью [1]:

$$C_m = 1 - h(p_m) \quad (3)$$

за N использований канала (временных тактов), а проверочные по ВК ДСК с пропускной способностью равной единице за r использований канала, тогда общая пропускная способностью обоих каналов может быть определена на основе границы разделения времени по формуле [4, 5, 6]

$$C_{\text{общ}} = \frac{N}{N+r} C_m + \frac{r}{N+r}. \quad (4)$$

Тогда вероятность ошибочного декодирования $P_e \to 0$ при $N \to \infty$, если скорость помехоустойчивого кода R_k удовлетворяет неравенству

$$R_k = \frac{N}{N+r} \le C_{\text{общ}}. \quad (5)$$

С учетом (4) и (5) запишем

$$\frac{N}{N+r} \le \frac{N}{N+r} C_m + \frac{r}{N+r},$$

откуда следует

$$r \ge N - NC_m = Nh(p_m).$$

что и требовалось доказать.

Сравнение (1) и (2) показывает, что минимальное количество проверочных символов в случае раздельной передачи информационного блока и блока проверочных символов кодового слова помехоустойчивого кода меньше аналога для случая, когда вместе с информационными символами длиной N двоичных символов по ПК ДСК каналу с шумом передаются символы проверки. Это связано с передачей символов проверки по бесшумному ВК и снятия информационной неопределенности теперь не требуется. Из доказанного утверждения вытекает нижеприведенное Утверждение.

Утверждение 2. Пусть выполняются в условия Утверждения 1, тогда общая пропускная способность $C_{общ}$ раздельной передачи информационной последовательности (блока) длиной N и блока проверочных символов кодового слова помехоустойчивого кода определяется из выражения

$$C_{\text{общ}} = \frac{1}{1+h(p_m)}. \quad (6)$$

Доказательство. Пропускная способность ПК ДСК [1, 4] определяется из выражения (3). Определим с учетом (2) длину кодового слова ($N+r, N$) помехоустойчивого кода

$$N + r = N + Nh(p_m) = N(1 + h(p_m)). \quad (7)$$

Подставим в (4) выражения (2), (7) и произведя сокращения получим (6).

Это доказывает утверждение.

Заключение

Посредством методологии теории информации выполнена оценка информационной эффективности раздельной параллельной передачи информации и проверочных символов кода по системе каналов, включающей параллельные ПК и ВК. Первоначально определена минимальная длина блока проверочных символов для информационной последовательности требуемой длины и заданного качества ПК. Знание длины позволило выполнить дальнейшую оценку. Показателем эффективности определена общая пропускная способность системы параллельных каналов. Анализ оценки информационной эффективности в (6) показывает, что она уменьшается с максимального значения равного единице при идеальном ПК и с ухудшением качества ПК достигает значения 0.5 в случае «обрыва» ПК. Иными словами, минимальное значение показателя эффективности всегда более нуля, что имеет существенное значения для обеспечения надежного функционирования систем информационной безопасности телекоммуникационной системы.

Полученный результат развивает известные теоретико-информационные оценки каналов связи и может быть использован в процессе разработки методов распределения по частям секретного параметра (пароля, ключа шифрования и т.д.) посредством передачи информации по каналам связи, подверженным перехвату нарушителем [7, 8, 9] в ходе построения современной системы информационной безопасности.

Список используемых источников

1. Колесник В. Д., Полтырев Г. Ш. Курс теории информации. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. 416 с.

2. Берлекэмп Э. Алгебраическая теория кодирования. М.: Мир, 1971. 139 с.

3. Чисар И., Кернер Я. Теория информации: теоремы кодирования для дискретных систем без памяти: пер. с англ. М.: Мир, 1985. 400 с.

4. Галлагер Р. Теория информации и надежная связь. США, 1968 г. пер. с англ., под ред. М. С. Пинскера и Б. С. Цыбакова. М.: Советское радио, 1974. 720 с.

5. Возенкрафт Д., Джекобс И. Теоретические основы техники связи. М.: Мир, 1969. 640 с.

6. Скляр Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2–е издание.: пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.

7. Синюк А. Д. Формирование трехстороннего шифрключа по открытым каналам связи с ошибками. Монография СПб.: ВАС, 2009. 360 с.

8. On the Individual Secrecy Capacity Regions of the General, Degraded, and Gaussian Multi-Receiver Wiretap Broadcast Channel// Ahmed S. Mansour; Rafael F. Schaefer; Holger Boche//IEEE Transactions on Information Forensics and Security. 2016. Vol. 11. Iss. 9. PP. 2107–2122.

9. Design of Lightweight Authentication and Key Agreement Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks// Mohammad Wazid; Ashok Kumar Das; Neeraj Kumar; Vanga Odelu; Alavalapati Goutham Reddy; Kisung Park; Youngho Park// IEEE Access. 2017. Vol. 5. PP. 14966–14980.

THE INFORMATION SEPARATE TRANSMISSION EFFICIENCY AND CHECK SYMBOL BLOCK VIA PARALLEL COMMUNICATION CHANNELS

Sinyuk A., Ostroumov O.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

In the process of studying the issues of information transmission via communication channels, the assessment of the transmission information efficiency via separate communication channels of information and data, which represent some functionality from the information itself, is of great interest. This is especially relevant in the study of information security systems, where password information, encryption keys, authentication codes and other critical information can act as information, and the role of information functionality can be played by data representing corrective blocks of check symbols of a noise-resistant code or a hash image of information, etc. In the work, based on the methodology of information theory, an assessment of the information efficiency of transmission via separate communication channels of information and data is made, allowing to determine ways to reduce the time costs for separate transmission.

Key words: *communication correspondent, parallel communication channels, separate parallel transmission information efficiency of an information block and a block of check symbols of a code word of an error-correcting code, total throughput of a parallel channel system*

УДК 621.394.343
ГРНТИ 43.03.09

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКОВ ЗАЯВОК В УЗЛАХ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ

Н. А. Соколов, А. Е. Ермаков, А. В. Фёдоров

Филиал НИЦ Телеком в г. Санкт-Петербурге

Мультисервисная сеть предназначена для обмена IP-пакетами, которые в теории телетрафика именуются заявками. На входе узлов мультисервисной сети объединяется ряд потоков заявок. Для корректного расчета производительности узлов мультисервисной сети необходимо оценить стохастические характеристики суммарного потока заявок. В данной работе предложен методологический подход к исследованию таких характеристик и формулируются направления дальнейших работ.

мультисервисная сеть, система массового обслуживания, входящий поток заявок, модель, независимость

В каждый узел мультисервисной сети поступает несколько потоков IP-пакетов, которые уместно рассматривать как совокупность заявок на входе системы массового обслуживания (СМО). Суммарный поток лучше всего описывается функцией распределения длительности интервалов между моментами поступления заявок в СМО – $A(t)$. Получить функцию $A(t)$ в явном виде удается только при существенных допущениях, которые, как правило, не типичны для мультисервисных сетей.

Если перечень исследуемых характеристик потоков заявок ограничить первым моментом $A^{(1)}$ и коэффициентом вариации C_A, то поставленная задача упрощается. В публикациях [1, 2] приведены выражения, которые позволяют рассчитать значения $A^{(1)}$ и C_A. Заметим также, что величина интенсивности потока заявок λ обратно пропорциональна значению $A^{(1)}$.

В работе [3] исследована модель, приведенная на рис. 1. Она связана с процессом суммирования k потоков заявок, поступающих на вход СМО.

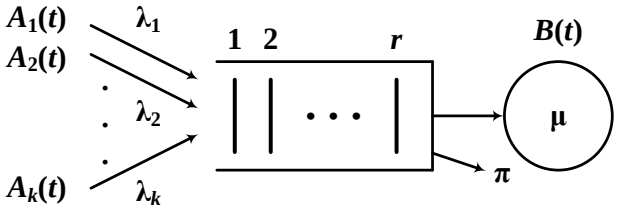


Рис. 1. Суммирование k потоков заявок на входе СМО

Предполагается, что каждый поток представим уникальной функцией распределения $A_i(t)$, количество мест для ожидания в очереди ограничено величиной r, время обслуживания заявок представляет собой случайную величину с распределением $B(t)$ и интенсивностью μ, а часть заявок может быть потеряна с вероятностью π.

В работе [4] исследована модель, которая, в некотором смысле, может рассматриваться как инверсная относительно структуры, приведенной на рис. 1. Рассматривается модель с модулем фильтрации (МФ), делящим поток заявок между двумя СМО с вероятностями γ и (1–γ) соответственно. Данная модель показана на рис. 2. Обозначения снабжены нижними индексами «1» и «2», идентифицирующими показатели конкретных СМО. Модель, приведенная на рис. 2, отображает общие принципы реализации совместного использования проводных и беспроводных технологий [5] для обеспечения высокой надежности мультисервисной сети.

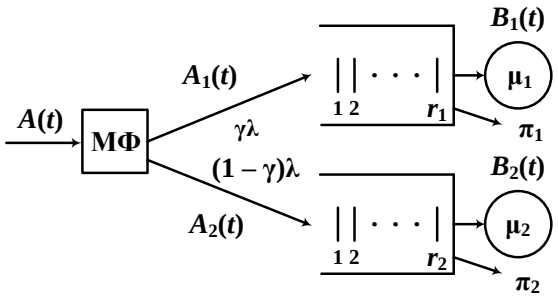


Рис. 2. Разделение потока для обслуживания двумя СМО

Аналитические результаты, полученные при исследовании обеих моделей, не позволяют оценивать характеристики качества обслуживания между интерфейсами пользователь-сеть. Для проведения соответствующих исследований необходимо разработать модель в виде многофазной СМО. Пример такой модели изображен на рис. 3. Эта модель подразумевает, что заявки проходят через n СМО.

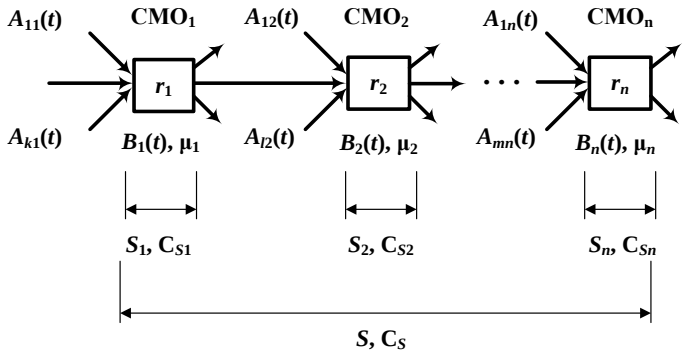


Рис. 3. Модель многофазной СМО

На вход каждой i-й СМО поступает i потоков заявок. Объем буферной памяти (количество мест для ожидания начала обслуживания) ограничен величиной r_i. Длительность обслуживания заявок в i-й СМО – случайная величина с распределением $B_i(t)$ и интенсивностью μ_i. Величины среднего времени задержки заявок и коэффициента вариации это же случайной величины оцениваются и для каждой СМО (S_i и C_{Si}), и для всего маршрута прохождения заявок (S и C_S).

Предложенная модель может быть исследована аналитически только при допущениях, основанных на гипотезах об экспоненциальном законе распределений $A_{ij}(t)$ и $B_i(t)$, а также отсутствии ограничения на величину r_i. Кроме того, обслуживание заявок должно осуществляться без назначения приоритетов. Все эти условия не характерны для исследуемого объекта (мультисервисной сети).

По этой причине для исследования предложенной модели приходится использовать имитационное моделирование. Такой подход позволит также получить результаты в условиях перегрузки одной или нескольких СМО. В настоящее время модель, показанная на рис. 3, разработана и апробирована для трех СМО в составе маршрута обмена заявками. Следует подчеркнуть, что количество СМО можно легко увеличить.

При помощи разработанной модели предполагается решить ряд задач, которые можно объединить в три группы.

Первая группа задач связана с поиском закономерностей характера суммарного потока заявок. Известно [6], что суммирование большого количества входящих потоков заявок позволяет ввести гипотезу об экспоненциальном законе распределения $A_i(t)$. В монографии [7] показано, что при практических значениях коэффициентов вариации для входящего потока гипотеза об экспоненциальном законе распределения $A_i(t)$ не может использоваться, если рассматривать реальные структуры мультисервисной сети.

Вторая группа задач посвящена оценкам качественных показателей, которые нормированы для мультисервисных сетей. Основное внимание предполагается уделить расчетам средней длительности задержки заявок и квантилям распределения этой случайной величины. При перегрузках в узлах мультисервисной сети будут оцениваться и величины вероятности потерь заявок.

Третья группа задач направлена на определение точности тех оценок качественных характеристики мультисервисной сети, которые основаны на гипотезе о взаимной независимости процессов, протекающих во всех СМО.

Для решения подобных задач надо не только использовать критерии согласия [8], но и ввести количественные оценки точности характеристик качества обслуживания мультисервисного трафика.

Существенная сложность имитационного моделирования заключается в том, что необходимо исследовать разные виды входящих потоков при различных сочетаниях величин их интенсивности. Кроме того, придется рассматривать различное количество входящих потоков заявок при не идентичных длинах маршрутов обмена заявками. К этому следует также добавить актуальность анализа разных дисциплин обслуживания заявок.

Таким образом, предложенная модель подразумевает тщательный анализ существенного количества разных вариантов функционирования мультисервисной сети. Авторы надеются, представить полученные данные на следующей конференции.

Список используемых источников

1. Allen O. A. Queueing models of computer systems // Computer. 1980, Vol. 13. №4. PP. 13–24.

2. Рыжиков Ю. И. Теория очередей и управление запасами. СПб.: Питер. 2001. 384 с.

3. Фёдоров А. В. Изменение параметров мультисервисного трафика при возникновении неординарных событий // Информация и Космос. 2024. №4. С. 48–53.

4. Ермаков А. В. Метод управления дополнительными транспортными ресурсами в телекоммуникационной системе высокотехнологичной компании // Информация и Космос. 2024. №3. С. 32–37.

5. Ермаков А. В., Коломенский К. Ю., Соколов Н. А. Эволюция концепции W+W для развития телекоммуникационной системы при переходе к цифровой экономике // Электросвязь. 2022. №2. С. 42–46.

6. Лившиц Б. С., Фидлин Я. В., Харкевич А. Д. Теория телефонных и телеграфных сообщений. М.: Связь, 1971. 304 с.

7. Леваков А.К. Сеть связи следующего поколения в чрезвычайных ситуациях. Анализ моделей телетрафика. М.: ИРИАС, 2019. 124 с.

8. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. 648 с.

CHARACTERISTICS OF ARRIVALS IN NODES OF A MULTISERVICE NETWORK

Sokolov N., Ermakov A., Fedorov A.
NIC Telecom in St. Petersburg

Multiservice network is designed for exchange of IP-packets that in the theory of teletraffic are denoted as arrivals. At the input of the nodes of the multiservice network a number of arrivals are combined. To correctly calculate the performance of the nodes of the multiservice network, it is necessary to estimate the stochastic characteristics of the totality of arrivals. In this paper we propose a methodological approach to the study of such characteristics and formulate directions for further work.

Key words: *multiservice network, queuing system, incoming arrivals, model, independence*

УДК 654.739
ГРНТИ 49.33.29

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УНИФИКАЦИИ КАДРОВ ДАННЫХ СТАНДАРТОВ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ZIGBEE и WIRELESSHART

С. Е. Сосенушкин, Ф. Юсеф

Московский государственный технологический университет «Станкин»

В качестве решения проблемы интероперабельности был разработан протокол для обеспечения интероперабельности и унификации кадров данных стандартов ZigBee и WirelessHART на основе метода «посредника» на канальном уровне. Имитационное моделирование процесса унификации кадров данных, позволяет визуализировать и исследовать динамику процесса унификации, а также проводить эксперименты.

беспроводные сенсорные сети, унификация данных, эмулятор, моделирование.

До сих пор не существует единого стандартного протокола связи (интерфейса), позволяющего связывать различные типы данных и обеспечивать возможность подключения и соединения различных устройств в одну интегрированную систему, в частности, на канальном уровне.

В качестве решения вопроса совместимости стандартов БСС, разработан протокол на канальном уровне для обеспечения интероперабельности и интеграции данных стандартов ZigBee и WirelessHART (рис. 1), основанный на методе «посредника» [1].

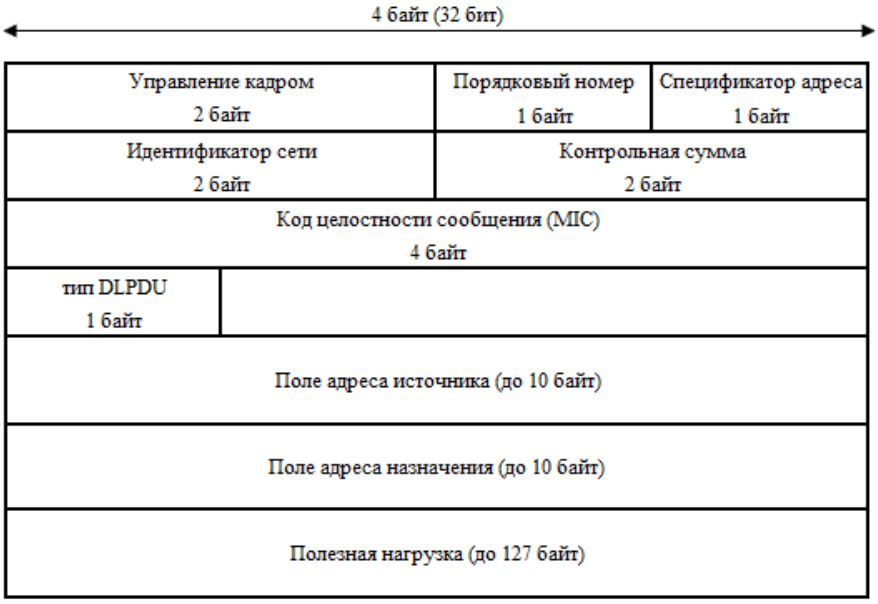


Рис. 1. Протокол обеспечения интероперабельности и интеграции данных

Обоснование эффективности разработанного программного эмулятора унификации кадров данных, подтверждена проведением следующих модельных экспериментов [2]:

– зависимость времени обработки кадра от интенсивности пакетов;
– зависимость времени обработки кадра от количества узлов;
– зависимость коэффициента потери кадров стандартов WH/ZB от интенсивности пакетов.

И при заданных следующих параметрах:

– количество устройств (узлов) 1, 2, 3;
– значение полезной нагрузки равно 50 для кадров узлов обоих стандартов;
– интенсивность пакетов или частота генератора пакетов (5,10,50,100,500 и 1000 пакеты в 1 секунду).

Анализ результатов эмуляции рассмотренных показателей эффективности: общее затраченное время обработки кадра (рис. 2, рис. 3) и коэффициент потери кадров (рис.4.), показал, что увеличение регулируемого значения интенсивности пакетов и количества узлов, увеличивает значение времени обработки кадра и значение коэффициента потери кадров [2].

Рис. 2. Зависимость времени обработки кадра от интенсивности пакетов (при частоте пакеты в 1 секунду)

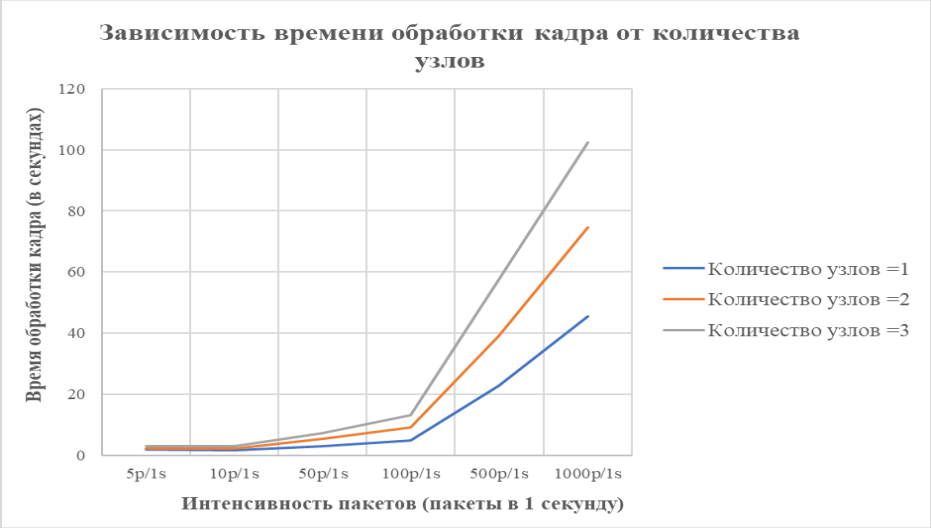
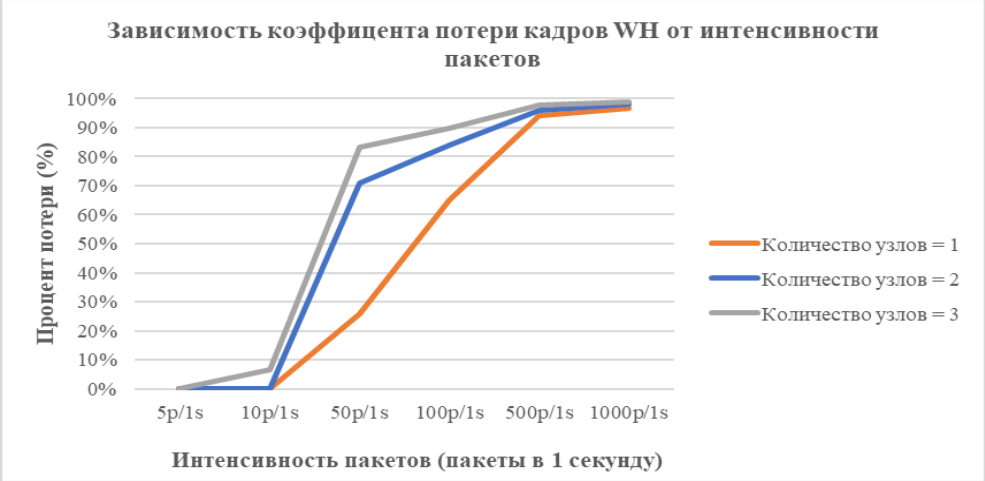
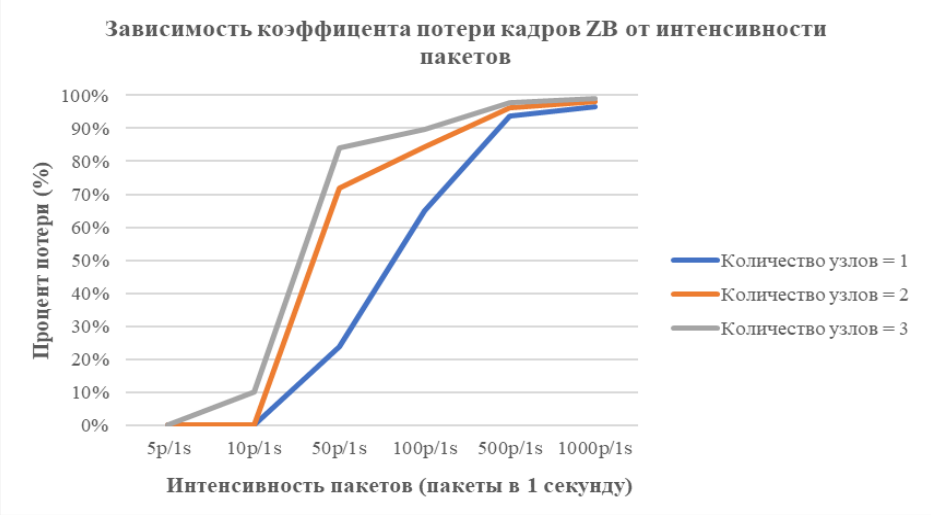


Рис. 3. Зависимость времени обработки кадра от количества узлов



а



б

Рис. 4. Зависимость коэффициента потери кадров стандартов от интенсивности пакетов: а) стандарт WirelessHART; б) стандарт ZigBee

Список используемых источников

1. Юсеф Ф., Сосенушкин С. Е., Методика обеспечения интероперабельности беспроводных сенсорных сетей на основе унификации форматов кадров // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2022. № 2 (61). С. 38-42.

2. Юсеф Ф. Компьютерное моделирование процесса обеспечения интероперабельности беспроводных сенсорных сетей // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2024. №. 3 (70). С. 8-15.

3. Юсеф Ф. Программный эмулятор для обеспечения интероперабельности протоколов беспроводных сенсорных сетей // Сборник статей II Всероссийской научной конференции "Искусственный интеллект в автоматизированных системах управления и обработки данных" ИИАСУ’23. В 5-ти томах. Москва. 2024. С. 444-451.

MODELING OF THE DATA FRAMES UNIFICATION PROCESS OF WIRELESS SENSOR NETWORK STANDARDS ZIGBEE AND WIRELESSHART

Sosenushkin S., Yousef F.
Moscow State Technological University "Stankin"

As a solution to the interoperability problem, a protocol was developed to ensure the interoperability and unification of data frames of ZigBee and WirelessHART standards based on the “intermediary” method at the data link layer. Simulation modeling of the data frames unification process allows for visualizing and investigating the dynamics of the unification process, as well as conducting experiments.

Key words: *Wireless sensor networks, data unification, emulator, simulation*

УДК 621.396
ГРНТИ 49.43.00

РАСЧЕТ РАДИОПОКРЫТИЯ СОТЫ 5G ПОСРЕДСТВОМ ТЕХНОЛОГИИ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ В СРЕДЕ MATLAB

В. В. Стариков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматривается порядок оценки радиопокрытия сот пятого поколения в пакете прикладных программ Matlab. Моделирование производилось методом «shooting and bouncing ray» для сот, работающих в диапазоне 28 ГГц в условиях плотной городской застройки и при отсутствии прямой видимости между антеннами базовой станции и абонентского терминала в среде Matlab. Результаты имитационного моделирования планируется впоследствии использовать при прогнозе сценариев организации направленной радиосвязи в сверхплотных сетях радиодоступа с направленными антеннами.

планирование сетей мобильной связи, трассировка лучей, SBR, 5G NR

Сегодняшний мир невозможно представить без технологий беспроводной передачи данных, прочно вошедших в жизнь современного человека. Развитие сотовых систем мобильной радиосвязи обуславливает необходимость поиска новых решений и методик, повышающих качественные характеристики развертываемых сетей. Особого внимания в данном контексте заслуживает расчет и анализ будущего радиопокрытия сот пятого поколения, работающих близ верхней границы СВЧ-диапазона.

По сей день при планировании сетей мобильной связи наиболее используемым инструментарием расчета уровня сигнала является набор эмпирических моделей оценки затухания. В качестве примеров следует привести модели Окамура-Хата и Cost-231-Хата [1, 2]. Отметим основные достоинства и недостатки таких моделей. К достоинствам следует отнести приемлемый баланс между точностью расчета и сложностью вычислений. Благодаря составленным уравнениям для различных диапазонов частот и типов застройки инженер может выбрать наиболее подходящий вариант, исходя из заданной местности и стандарта связи. Первым недостатком можно назвать неудовлетворительные результаты вычислений для тех участков местности, которые не подпадают под описанные варианты уравнений. Данный факт объясняется тем, что эмпирические модели не учитывают уникальность

морфоструктуры местности, а также особенностей ее застройки. Вторым серьезным недостатком является невозможность учета технологии MI-MO (Multiple Input Multiple Output – множественный вход множественный выход).

Для решения вышеуказанных проблем при расчете уровня поля были предложены методы, основанные на принципе трассировки лучей. Трассировка лучей представляет собой численный метод решения уравнений Максвелла. Наиболее популярными являются IM (Image Method – метод отражений) и SBR (Shooting and Bouncing Rays – метод «стреляющих» и отражающихся лучей). Подробнее с особенностями каждого из методов можно ознакомиться в [3].

В среде Matlab реализован удобный и функциональный механизм расчета уровня поля посредством метода SBR. В виду большого объема программного кода дальнейшее описание процесса расчета соты стандарта 5G будет акцентировано лишь на основных этапах моделирования, требующих пояснений. Полный скрипт, описывающий все этапы моделирования, представлен на сайте компании Mathworks [4].

На первом этапе производится визуализация 3D карты и создание передатчика. Для отображения местности следует подготовить и подгрузить в проект файл соответствующей карты OpenStreetMap с расширением .osm. С методикой подготовки такого файла можно ознакомиться в [5]. Цифровая карта местности должна содержать в себе 3D объекты окружающей среды. Рассматриваемый далее пример расчета покрытия соты 5G будет представлен на фрагменте карты района Невского района г. Санкт-Петербурга [6].

Для установки антенны базовой станции на карту зададим ряд параметров: координаты, высоту подвеса (2 м), мощность излучения (5 Вт) и частоту (28 ГГц).

Опишем ключевые моменты создания модели распространения сигнала на базе метода SBR. Команда «rtpm = propagationModel» задает модель расчета распространения радиоволны со следующими отображаемыми параметрами:

– «Raytracing» – определяет технологию расчета;
– «Method = "SBR" » – описывает выбор методики трассировки лучей;
– «MaxNumReflections» – задает максимальное число отражений.
– Запись «BuildingsMaterial = "concrete"» производит назначение материала зданий (бетон). Аналогичным образом команда «TerrainMaterial = "concrete"» описывает материал для земли.

Далее произведем установку приемника вне зоны прямой видимости антенны базой станции. На этом этапе создается объект «rx», представляющий собой приемник сигнала. Параметр «AntennaHeight» определяет высоту подвеса антенны (1 м).

Произведем тестовый расчет модели с одним отражением. На рис. 1. представлен результат выполнения команды «Raytrace(tx,rx,rtpm)» с использованием описанной ранее модели «rtpm».

Вычислим принимаемую мощность сигнала «sigstrength» на входе абонентского терминала с учетом влияния материалов объектов. Строка «ss = sigstrength(rx,tx,rtpm)» описывает расчет мощности принимаемого сигнала с использованием текущей модели трассировки лучей «rtpm». Строка «disp("Received power using concrete materials: " + ss + " dBm")» выводит рассчитанную мощность сигнала в единицах (dBm). Для рассматриваемого примера мощность будет равна – 86,65 dBm.

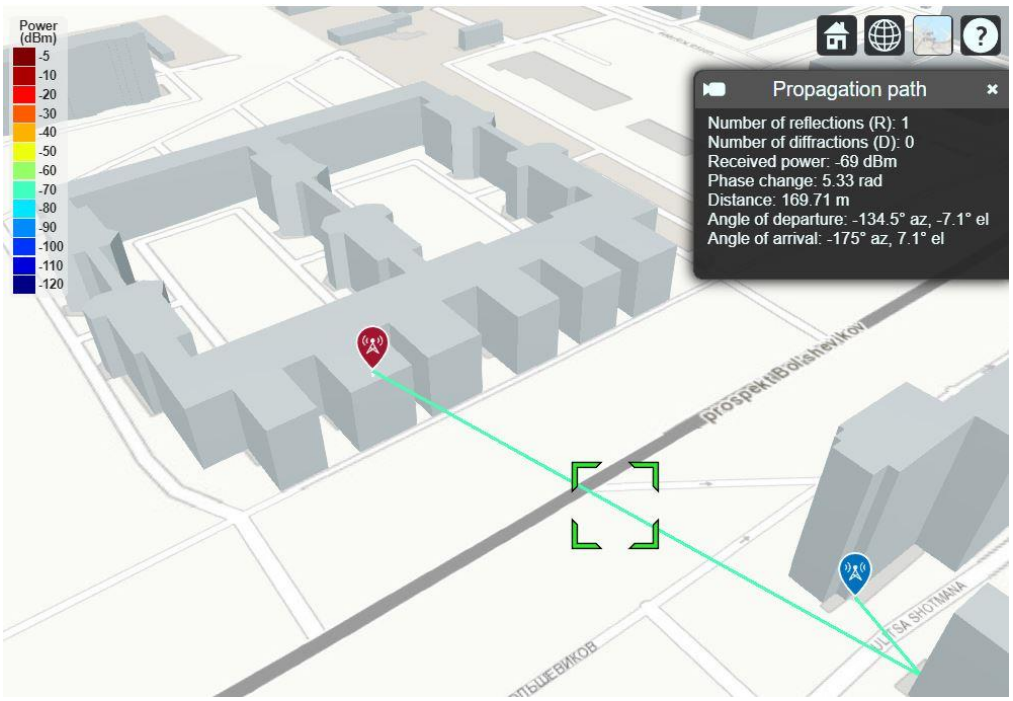


Рис.1. Результат расчета для 1 луча

Создадим комбинированную модель для учета эффекта от ослабления сигнала, вызванного погодными условиями (влияние атмосферных газов и дождя). Погодная составляющая «rtPlusWeather» будет включать в себя:

– «PropagationModel("gas")» – модель ослабления сигнала, учитывающая поглощения атмосферными газами. Это особенно важно для частот миллиметрового диапазона;
– «PropagationModel("rain")» – модель ослабления сигнала из-за дождя. Напомним, что атмосферные осадки вызывают рассеяние и поглощение

радиоволн, что также значительно влияет на распространение сигнала в сетях 5G.

Учитывая описанные выше погодные факторы, мощность принимаемого сигнала вточке приема будет равна -87,91 dBm.

На следующем этапе моделирования изменим тип антенны базовой станции с простейшего изотропного излучателя на фазированную антенную решетку. Рассчитаем сценарий для 4 отражений с уменьшенным угловым разделением лучей (AngularSeparation = "low"). Назначение новой антенны для передатчика будем производить с помощью функции «helperM2412PhasedArray», которая создает модель фазированной антенной решетки «Phased Array». Строка «tx.AntennaAngle» определяет угол наклона антенны (– 90°).

Заключительным этапом моделирования является вычисление угла отклонения «AoD». Рассмотрим строку «aod = ray{1}.AngleOfDeparture». Из нее следует, что из объекта первого луча «(ray{1})» извлекается угол отклонения сигнала при его выходе из передатчика. Параметр «aod» представляет собой массив, содержащий два компонента: азимутальный угол (относительно передатчика) и угол возвышения.

Строка кода «steeringaz = wrapTo180(aod(1)-tx.AntennaAngle(1))» определяет угол поворота антенны. Вычисления происходят следующим образом: из азимутального угла отклонения луча «aod(1)» вычитается текущий угол ориентации антенны «tx.AntennaAngle(1)». Функция «wrapTo180» приводит результат к диапазону от -180° до 180°. Строка «steeringVector = phased.SteeringVector("SensorArray",tx.Antenna)» отвечает за создание вектора управления для фазированной антенной решетки. Параметр «SensorArray» указывает на то, что объект управления связан с антенной передатчика «tx.Antenna». Далее с помощью строки «sv = steeringVector(tx.TransmitterFrequency,[steeringaz;aod(2)])» производится вычисление вектора управления для настройки фазированной антенной решетки. Параметр «tx.TransmitterFrequency» задает частоту передачи сигнала (Гц). Параметр «[steeringaz;aod(2)]» определяет целевое направление, заданное азимутальным углом поворота («steeringaz») и углом возвышения («aod(2)»). Смысл определения этого вектора управления заключается в моделировании того, как фазы элементов антенны должны быть скорректированы для формирования направленного луча в заданном направлении.

На заключительном этапе производится окончательная настройка антенны передатчика. Коэффициенту затухания для каждого элемента фазированной антенной решетки («tx.Antenna.Taper») присваивается значение

«conj(sv)» - т.е. комплексно-сопряженного вектора управления, который применяется для корректировки амплитуд и фаз элементов антенны. Благодаря этому антенна излучает сигнал точно в направлении, заданном углами «[steeringaz;aod(2)]». Далее подключим отображение 2D карты уровня поля в зоне прямой видимости от антенны базовой станции. Для этого нужно воспользоваться функцией «coverage», которая рассчитывает и отображает зону покрытия передатчика, используя модель распространения сигнала (rtpm). Расчет произведем с шагом 2x2 метра.

Результат моделирования описанных выше этапов моделирования представлен на рис. 2 и показывает сценарий оценки покрытия с использованием направленной антенны в районе СПбГУТ. Подводя итог можно сделать вывод о том, что технология трассировки лучей хорошо зарекомендовала себя в части планирования наиболее сложных с точки зрения застройки и абонентской нагрузки участков сети. Тем не менее, эмпирические модели по-прежнему находят свое применение для в условиях, приближенных к стандартным. На текущий момент комбинированное использование этих двух подходов выглядит наиболее рациональным вариантом, предоставляющим оптимальное соотношение точности расчетов и требуемых вычислительных мощностей.

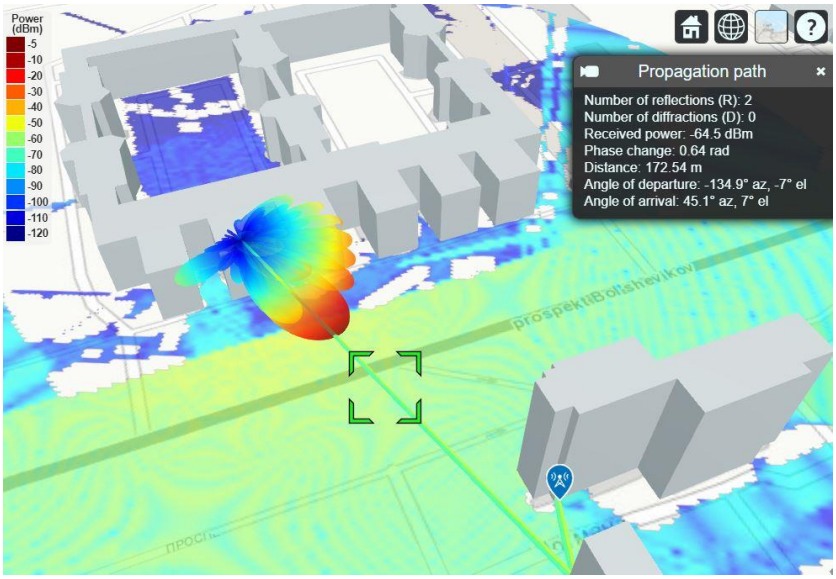


Рис. 2. Моделирование с фазированной антенной решеткой при 4-х лучах

Результаты моделирования планируется впоследствии использовать при прогнозе сценариев организации направленной радиосвязи в сверхплотных сетях радиодоступа 5G с направленными антеннами [7–9].

Список используемых источников

1. Okumura, Y.; Ohmori, E.; Kawano, T.; Fukuda, K. (September–October 1968). "Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service". // Review of the Electrical Communication Laboratory (in Japanese). 16 (9–10): 825–73.

2. European cooperation in science and technology (COST). URL: http://www.cost.eu/ (дата обращения 26.01.2025).

3. Yun Z., Iskander M.F. Ray Tracing for Radio Propagation Modeling: Principles and Applications // IEEE Access. 2015. Vol. 3. pp. 1089 1100.

4. Urban Link and Coverage Analysis Using Ray Tracing. URL: https://nl.mathworks.com/help/comm/ug/urban-channel-link-analysis-and-visualization-using-ray-tracing.html (дата обращения 26.01.2025).

5. OpenStreetMap Functions URL: https://nl.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/35819-openstreetmap-functions (дата обращения 26.01.2025).

6.OpenStreetMap. URL: https://www.openstreetmap.org (дата обращения 26.01.2025).

7. Фокин Г. А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 1. Оценка помех // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2021. № 3(95). С. 66–73.

8. Фокин Г. А. Модели диаграммообразования в сверхплотных сетях радиодоступа 5G. Часть 2. Оценка разноса устройств // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2021. № 4(96). С. 66–73.

9. Бабков В. Ю., Фокин Г. А. Оценка вероятности успешного радиоприема в самоорганизующихся пакетных радиосетях на основе радиостанций с направленными антеннами // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. № 4 (82). С. 77-84.

Статья представлена научным руководителем, профессором кафедры БТС СПбГУТ, доктором технических наук, Г. А. Фокиным.

CALCULATION OF 5G CELL RADIO COVERAGE USING RAY TRACING TECHNOLOGY IN THE MATLAB

Starikov V.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article discusses the procedure for evaluating the radio coverage of fifth-generation cells using a MATLAB software package. The modeling was performed using the "shooting and bouncing ray" method for cells operating in the 28 GHz frequency range in conditions of dense urban environments and without direct line-of-sight between the base station antenna and the subscriber terminal in the MATLAB environment. The results of the simulation modeling are intended to be used later for forecasting scenarios of organizing directional radio communication in ultra-dense radio access networks with directional antennas.

Key words: *mobile network planning, ray tracing, SBR, 5G NR.*

УДК 621.397.132
ГРНТИ 47.51.39

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СИНТЕЗИРУЕМЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ РАКУРСОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРТЫ ГЛУБИНЫ

Д. А. Татаренков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматриваются методы оценки качества синтезируемых виртуальных ракурсов, полученных с использованием карт глубины. Производится анализ точности воспроизведения виртуальных сцен. Исследуется целесообразность использования метрик, основанных на структурном сходстве. В статье также представлены результаты экспериментов, демонстрирующие корреляцию результатов объективных и субъективных методов оценки качества.

карта глубины, виртуальный ракурс, заполнение пустот, DIBR.

Развитие технологий иммерсивного видео заметно расширило возможности использования виртуальных ракурсов, обеспечивающих зрителю глубокое погружение в трехмерные сцены. Введение стандарта MPEG Immersive Video (MIV) в 2020 году группой экспертов MPEG ознаменовало важный этап в формализации объемного видео [1]. Процесс синтеза виртуальных ракурсов сталкивается с рядом технических проблем, среди которых особое место занимает проблема заполнения пустот на изображениях. Эти пустоты возникают из-за неполноты данных на исходных ракурсах, и могут существенно ухудшить визуальный опыт.

Традиционные методы заполнения пустот, применяемые для восстановления отсутствующих участков изображения, нередко приводят к заметным искажениям, что снижает реалистичность синтезированных сцен и негативно сказывается на восприятии зрителя. В этой связи возникает необходимость разработки новых подходов, способных эффективно устранять такие недостатки. Кроме того, для оценки успешности подобных методов требуется надежная система анализа качества синтезируемых ракурсов. Оценка качества играет ключевую роль в определении точности воспроизведения виртуальных сцен и позволяет выявить, насколько результаты соответствуют ожиданиям пользователей. Использование объективных метрик может применяться для обычных двумерных изображения. Однако,

необходимо провести анализ корреляции между объективными метриками и субъективным восприятием качества получаемых виртуальных ракурсов.

В качестве базового подхода для синтеза ракурсов был выбран метод Depth Image-Based Rendering (DIBR), который обладает рядом преимуществ. Процесс обработки данных включал три основных этапа: предобработку карты глубины, перспективные преобразования и заполнение областей открытия. На первом этапе карта глубины подвергалась фильтрации для устранения шумов и ошибок, что обеспечивало более точное представление геометрии сцены. Далее выполнялось перепроецирование: пиксели исходного изображения с использованием карты глубины переводились в трехмерное пространство, а затем проецировались на плоскость виртуального ракурса, заданного положением виртуальной камеры [2]. Однако в результате этого процесса возникали пустоты – области, недоступные в исходном ракурсе из-за окклюзий или ограниченного угла обзора.

Рис. 1. Артефакты синтеза

Для заполнения пустот были использованы несколько методов традиционных методов рассматривались: Nearest – заполнение пустот значением ближайшего пикселя; Average – усреднение значений соседних пикселей; Navier-Stokes (NS) – метод, основанный на уравнениях Навье-Стокса [3]; Telea – быстрый метод для небольших пустот, использующий распространение информации от краев [4]. Однако эти методы часто приводят к артефактам, таким как «трещины», ореолы или неестественные цвета (рис. 1). Качество синтезированных ракурсов оценивалось с использованием объективных метрик и субъективных тестов. Среди объективных метрик применялись следующие.

Для оценки качества применяется PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) – метрика, которая измеряет разницу между оригинальным и искаженным изображением. Метрика широко используется в сжатии изображений

(JPEG, PNG) и видео (H.264, HEVC, AV1). PSNR основан на MSE (mean squared error, среднеквадратичная ошибка):

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} \left(I_1(i,j) - I_2(i,j)\right)^2$$

где $I_1(i,j)$ и $I_2(i,j)$ – интенсивности пикселей в оригинальном и тестовом изображениях., M,N – высота и ширина изображения. PSNR измеряется в децибелах (dB): чем выше PSNR, тем меньше искажений:

$$PSNR = 10 \cdot log_{10}\left(\frac{MAX^2}{MSE}\right)$$

где MAX – максимальное значение интенсивности пикселя.

SSIM (structural similarity index measure) – перцептивная метрика качества изображений, которая измеряет различие в структуре, контрасте и яркости между двумя изображениями. В отличие от PSNR, SSIM лучше отражает реальное восприятие человеком.

$$SSIM(x,y) = \frac{\left(2\mu_x\mu_y + C_1\right)\left(2\sigma_{xy} + C_2\right)}{\left(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1\right)\left(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2\right)}$$

где μ_x,μ_y – средняя яркость окон изображения **x** и **y**, $\boldsymbol{\sigma^2_x}$, $\boldsymbol{\sigma^2_y}$ – дисперсия яркости (контраст) для каждого изображения, $\boldsymbol{\sigma_{xy}}$ – ковариация (измеряет, насколько структуры в двух изображениях похожи), C_1, C_2 – константы для стабилизации (обычно $C_1 = 0.01^2$, $C_2 = 0.03^2$).

IW-SSIM (information weighted structural similarity) – это усовершенствованная версия SSIM, которая взвешивает вклад различных областей изображения в зависимости от их информационной значимости. В отличие от обычного SSIM, который рассматривает все изображение равномерно, IW-SSIM дает более высокий вес тем частям изображения, которые содержат больше визуальной информации:

$$IW\text{-}SSIM = \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i \cdot SSIM\left(I_1^i, I_2^i\right)}{\sum_{i=1}^{N} w_i}$$

где SSIM(I^i_1,I^i_2) – обычное SSIM для окна i, w_i – вес окна i, основанный на информационной значимости, N – общее число окон. Вес w_i зависит от локальной энтропии изображенияю.

MS-SSIM (Multi-Scale SSIM) – это расширенная версия SSIM, которая учитывает различие на нескольких уровнях масштаба (детализации). Метрика более точно моделирует зрение человека, так как глаза воспринимают детали на разных уровнях размытости.

$$MS\text{-}SSIM(x,y) = [l_M(x,y)]^{\alpha_M} \cdot \prod_{j=1}^{M} [c_j(x,y)]^{\beta_j} \cdot [s_j(x,y)]^{\gamma_j}$$

где: M – количество уровней пирамиды (обычно 5), $l_M(x,y)$ – функция яркости на самом грубом уровне (наибольшем размытии), $c_j(x,y)$ – контраст на масштабе j, $s_j(x,y)$ – структурное сходство на масштабе j, $\alpha_M,\beta_j,\gamma_j$ – веса на разных уровнях.

Для оценки качества синтезированных виртуальных ракурсов в рамках эксперимента был применен метод средней субъективной оценки (mean opinion score, MOS), который позволяет количественно измерить восприятие пользователями визуального опыта. В эксперименте участвовало 15 экспертов, представляющих широкий возрастной диапазон – от 22 до 65 лет. Такой разброс возрастов был выбран для учета возможных различий в восприятии, связанных с возрастными особенностями зрительной системы. Острота зрения участников варьировалась от 0.5 до 1 (в единицах по стандартной таблице проверки зрения), что обеспечивало репрезентативность выборки, включая как людей с нормальным зрением, так и с умеренными отклонениями.

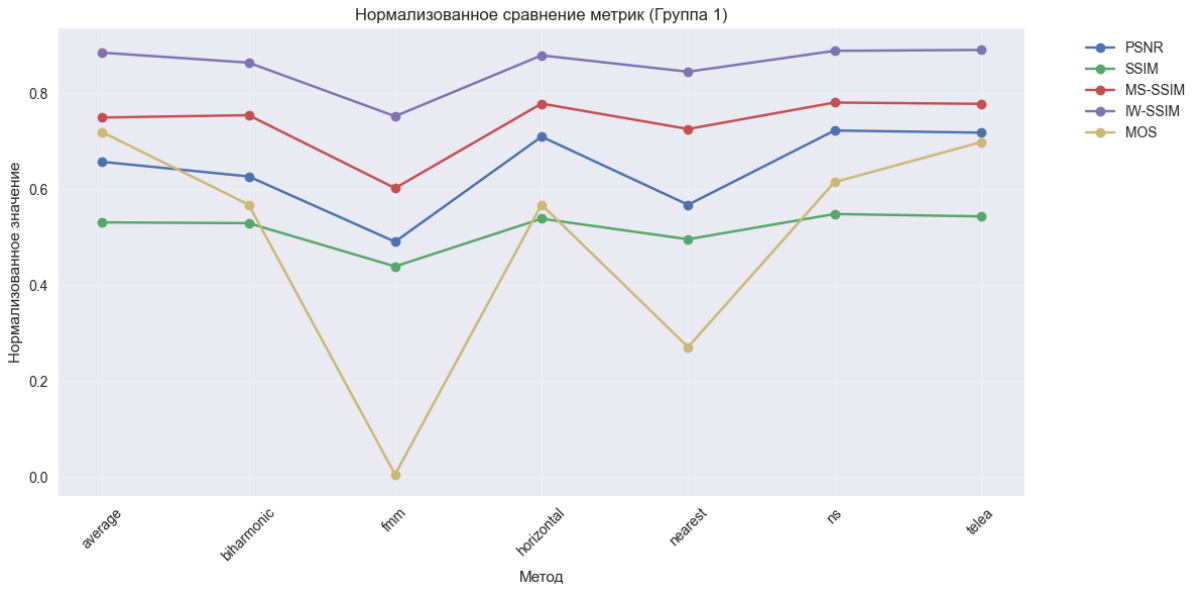


Рис. 1. График нормализованного сравнения метрик.

Процедура оценки заключалась в следующем: каждому эксперту демонстрировались синтезированные виртуальные ракурсы, полученные на основе входных данных с использованием традиционных подходов к инпейнтингу. Участники оценивали качество каждого ракурса по пятибалльной шкале, где 1 означало «очень низкое качество» (заметные артефакты, отсутствие реалистичности), а 5 – «отличное качество» (высокая реалистичность, минимальные искажения). Оценивались такие аспекты, как отсутствие пустот и артефактов, плавность переходов текстур и общее впечатление от погружения в сцену. После сбора оценок MOS вычислялся как среднее арифметическое значение по формуле:

$$MOS = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} R_i$$

где N = 15 – количество экспертов, R_i – индивидуальная оценка i-го участника для конкретного изображения. Итоговое значение MOS для каждого ракурса находилось в диапазоне от 1 до 5, отражая субъективное восприятие качества синтеза.

Результаты эксперимента показали (рис. 2), что классические методы объективной оценки, такие как PSNR и SSIM, продемонстрировали значительную корреляцию с MOS. Например, сцены с высоким значением SSIM (≈ 0.9) и PSNR (≈ 35 дБ) соответствовали более высоким субъективным оценкам (MOS ≈ 4.0-4.5), что подтверждает их применимость для оценки качества иммерсивного видео. Однако в некоторых случаях, особенно при наличии мелких текстурных искажений, метрика IW-SSIM показала более сильную корреляцию с MOS, что подчеркивает ее чувствительность к перцептуальным различиям, важным для человеческого восприятия.

Таким образом, в данном эксперименте метод MOS выступил в качестве эталонного инструмента субъективной оценки, позволив установить, что объективные метрики, такие как PSNR, SSIM, MS-SSIM и IW-SSIM, демонстрируют согласованность с восприятием пользователей. Это подтверждает возможность использования методов объективной оценки для анализа качества синтезируемых виртуальных ракурсов, так как была выявлена их корреляция с MOS. Участие экспертов с различными возрастными и зрительными характеристиками обеспечило надежность и обобщаемость полученных результатов, открывая перспективы для дальнейшей оптимизации алгоритмов синтеза на основе объективных критериев.

Список используемых источников

1. Hamidouche W., Biatek T., Abdoli M., François E., Pescador F., Radosavljević M., Menard D., Raulet M. Versatile Video Coding Standard: A Review from Coding Tools to Consumers Deployment//IEEE Consumer Electronics Magazine, 2022, Vol. 11, Versatile Video Coding Standard. № 5. PP. 10-24.

2. Татаренков Д. А. О синтезе дополнительных ракурсов для 3D-систем отображения информации // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании, 2021. Том 3. С. 311-316.

3. Bertalmio M., Bertozzi A.L., Sapiro G. Navier-stokes, fluid dynamics, and image and video inpainting//Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001. Kauai, HI, USA: IEEE Comput. Soc, 2001. Vol. 1. PP. I-355-I-362.

4. Telea A. An Image Inpainting Technique Based on the Fast-Marching Method//Journal of Graphics Tools, 2004. Vol. 9. № 1, PP. 23-34.

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF SYNTHESIZED VIRTUAL VIEWPOINTS USING A DEPTH MAP

Tatarenkov D.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article examines methods for assessing the quality of synthesized virtual viewpoints obtained using depth maps. It analyzes the accuracy of virtual scene reproduction. The feasibility of using metrics based on structural similarity is investigated. The article also presents experimental results demonstrating the correlation between objective and subjective quality assessment methods.

***Key words**: Depth map, virtual viewpoint, hole filling, DIBR*

УДК 621.396
ГРНТИ 52.23

ИНТЕРНЕТ ПОДВОДНЫХ ВЕЩЕЙ: ФИЗИЧЕСКАЯ АРХИТЕКТУРА И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

В. И. Татаринов, В. Е. Гущин

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Статья рассматривает физическую архитектуру и особенности применения Интернета подводных вещей. Анализируются два подхода: безинфраструктурный, основанный на подводных датчиках и узлах связи, и инфраструктурный, основанный на использовании подводного гибридного электрооптического кабеля. Существующий в настоящее время безинфраструктурный подход имеет ряд серьезных недостатков: ограниченную пропускную способностью и необходимость периодической подзарядки, от внешних источников. Инфраструктурный подход позволит обеспечивать покрытие больших территорий и автономность функционирования. Также в статье обращается внимание на области применения Интернета подводных вещей. Подчеркивается актуальность подобных работ для России и целесообразность проведения дальнейших исследований.

Интернет подводных вещей, физическая архитектура, подводные беспроводные сенсорные сети, подводные датчики

Введение

Несмотря на долгую и во многом плодотворную историю освоения мирового океана, стоит признать, что из-за крайне жестких и неоднородных условий водной среды, на этом пути еще многое предстоит сделать [1]. Одним из важных направлений исследования и освоения водного и подводного пространств, является создание Интернета подводных вещей. В настоящее время Интернет подводных вещей находит применение как в военной сфере для обеспечения безопасности морских портов, так и в коммерческой, в частности при добыче полезных ископаемых с морского шельфа [2]. В настоящее время Россия заинтересована в долгосрочных работах в этом направлении в связи с ожидаемым существенным экономическим и военным эффектом [3]. В период до 2025 года экономический эффект от внедрения технологий Интернета вещей (наземных) оценивается в размере от 2,7 трлн долл. до 6,2 трлн долл. ежегодно, то есть около 2 % от объема мирового ВВП [4]. В данной статье кратко рассматриваются и сравниваются два подхода к построению физической архитектуры Интернета подводных вещей.

Интернет подводных вещей можно определить, как взаимосвязанные сети различных подводных и надводных устройств с цифровой идентификацией подводных объектов, которые взаимодействуют друг с другом по стандартным протоколам связи. Это сложный, многогранный объект и представляемая статья не имеет цели охватить все его аспекты. Она лишь кратко освещает вопросы его физической архитектуры и особенностей применения. Стоит отметить, что архитектура и функции Интернета вещей и Интернета подводных вещей во многом сходны, но существует много технических различий из-за особенностей окружающей среды.

Практические разработки в направлении проводного подхода к Интернету подводных вещей реализуются в ряде стран, в том числе Саудовской Аравии [5] и США [6] – однако работ в это направлении в России автору не известно. Без инфраструктурный подход изучается в настоящее время небольшим количеством отечественных компаний и научных коллективов [7-10], а также некоторыми зарубежными компаниями [2].

Безинфраструктурный подход к построению Интернета подводных вещей

Физическая архитектура Интернета подводных вещей включает подводные контролирующие и управляющие объекты (узловые устройства) и коммуникационные компоненты (разнородные, оптические, электромагнитные гидроакустические приемо-передатчики) (Рис. 1 [11], 2 [12]). Оконечными подводными устройствами являются подводные конечные узлы, представляющие собой датчики, камеры, гидрофоны, микросхемы хранения данных, исполнительные механизмы, акустические и радиочастотные метки, считыватели меток и т. д. Над подводными конечными узлами расположены подводные узлы среднего уровня: точки распределения данных, модемы, шлюзы и т. д. Наконец, приемники – это надводные узлы и наземные сооружения: буи, исследовательские платформы, корабли, спутники, береговые станции и т.д. [13].

Важным компонентом сбора данных являются датчики, которые параллельно или отдельно от сбора данных, активируют другие подводные конечные узлы. Это, очевидно, позволит экономить энергию.

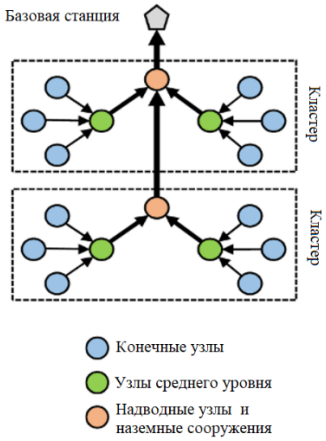


Рис. 1. [11] Надежная и энергоэффективная много-кластерная сетевая топология

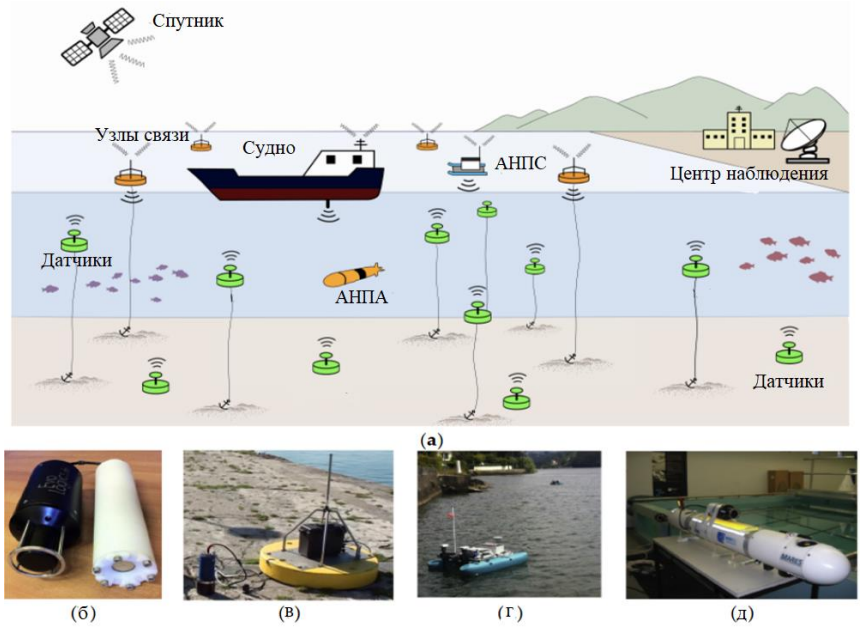


Рис. 2. [12] (а) Сетевая архитектура подводных беспроводных сенсорных сетей; фотографии: (б) подводного датчика (CO_2- зонда с акустическим модемом); (в) узлы связи (буи); (г) автономного надводного транспортного средства (АНПС); (д) автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА).

Для размещения датчиков на огромных разнородных морских пространствах требуются датчики с низким энергопотреблением, способные работать в обширных, враждебных и динамичных подводных условиях. В таблице 2 на стр. 6 [13] представлены измеряемые в море физические, оптические, жидкостные и химические величины типичные промышленные датчики для их измерения и краткое их описание.

Прежде чем какой-либо датчик может быть установлен в подводной среде, должна быть реализована эффективная и надежная подводная передача данных. Это создает одну из самых серьезных проблем для повсеместного внедрения датчиков в экосистемах Интернета подводных вещей из-за низкой пропускной способности оптических, акустических и электромагнитных каналов связи и высокого ослабления сигнала на больших морских расстояниях, что влияет на надежную подводную передачу данных. Способы обеспечения связи между объектами Интернета подводных вещей существенно влияют на его физическую архитектуру.

Одним из примеров реализованного Интернета подводных вещей являются маломасштабные подводные беспроводные сенсорные сети (*UWSN*) (рис. 2) [12][16].

Недостатками существующей системы *UWSN* является ее локальность (характерные размеры до нескольких км) и необходимость периодической подзарядки надводными аппаратами [13]).

Инфраструктурный подход к построению Интернета подводных вещей

Предлагаемый новый инфраструктурный подход лишен многих из перечисленных ранее недостатков при этом предусматривается создание стационарной подводной инфраструктуры на основе использования гибридного подводного электрооптического кабеля, обеспечивающего функции передачи электроэнергии на беспроводных подводных зарядных устройств системы обеспечения подводной связи. Гибридный электрооптический кабель призван обеспечивать взаимодействие узлов коммутации, связи, управления и подзарядки, мобильных устройства функционирующих под водой (Рис. 3) [1].

Предлагаемый подход позволяет решать вопросы покрытия больших территорий размерами в десятки км и подзарядки подводных устройств, обеспечивая большую автономность системы

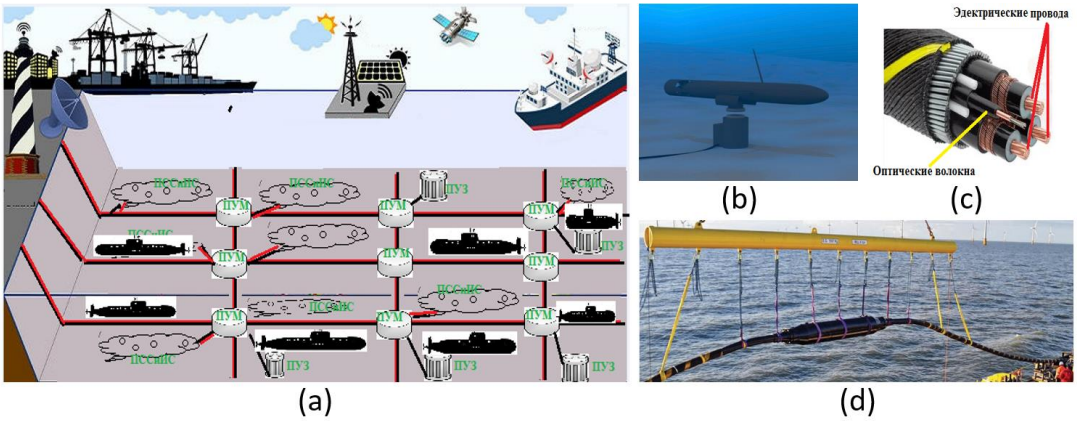


Рис. 3. (a) Схема физической архитектуры [1]; (b) АНПА с зарядным устройством [17]; (c) электрооптический кабель; (d) маршрутизатор [18]

Области применения Интернета подводных вещей

Интернет подводных вещей в различных своих реализациях имеет широкий спектр применения, включая экономику, политику, и военное дело [12]. В экономической сфере Интернет подводных вещей способен поддерживать решение задач добычи минеральных ресурсов с шельфа океана [14].

В экологической политике сбор экологических данных позволяет принимать правильные экологические решения [15]. В военной сфере локально и глобально обеспечивать безопасность морских границ, портов и прибрежных территорий [12].

Заключение

Таким образом, в статье представлены два существующих подхода к построению физической архитектуры Интернета подводных вещей и проведено их сравнение, а также обозначены области его применения.

Важными темами для создания физической архитектуры Интернета подводных вещей являются вопросы использования подводных зарядных устройств и методов связи узлов Интернета между собой и того качества и дальности связи, которые возможно реализовать с использованием данных методов, будут рассматриваться в последующих публикациях.

Список используемых источников

1. Комашинский В. И., Чернолес В. П., Поленин В. И., Блонский Ю. П. На пути к пятой транспортной моде или подводный транспорт в период четвертой индустриальной революции // Инфокосмо, 2022. URL: http://www.infokosmo.ru/file/article/17038.pdf (дата обращения 03.03.2025).

2. Морская доктрина Российской Федерации. URL: https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/official_documents/1688734/ (дата обращения 01.01.2023).

3. Украина нашла ключ взлома русских кораблей. URL: https://tsargrad.tv/articles/ukraina-nashla-kljuch-vzloma-russkih-korablej-mozhem-poterjat-chernomorskij-flot_888548 (дата обращения 01.01.2023)..

4. Токарева М. С., Вишневский К. О., Чихун Л. П. Влияние технологий Интернета вещей на экономику // Бизнес-информатика. 2018. №3 (45). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tehnologiy-interneta-veschey-na-ekonomiku (дата обращения 27.02.2025).

5. Guo, Y., Marin, J.M., Ashry, I. et al. Submarine optical fiber communication provides an unrealized deep-sea observation network. Sci Rep 13, 15412 (2023). doi: 10.1038/s41598-023-42748-0 (дата обращения 01.01.2023).

6. Howe BM, Arbic BK, Aucan J. et al. SMART Cables for Observing the Global Ocean: Science and Implementation. Front. Mar. Sci. 6:424 (2019). doi: 10.3389/fmars.2019.00424.

7. ЦКБ «Рубин» подтвердило готовность к серийному строительству автономных и телеуправляемых НПА. URL: https://portnews.ru/news/372624/ (дата обращения 01.01.2023).

8. АНПА для арктического шельфа. URL: https://magazine.neftegaz.ru/articles/arktika/667203-anpa-dlya-arkticheskogo-shelfa/?ysclid= m6t5ktdw4o466583950 (дата обращения 01.01.2023).

9. АНПА для арктического шельфа. URL: https://magazine.neftegaz.ru/articles/arktika/667203-anpa-dlya-arkticheskogo-shelfa/?ysclid=m6t5ktdw4o466583950 (дата обращения 01.01.2023).

10. Реализованные устройства ИПВ от резидента Сколково. URL: https://unavlab.com/produktsiya/internet-podvodnyh-veshhej/ (дата обращения 01.01.2023).

11. Rani S., Ahmed S. H., J Malhotra., and Talwar R. Energy efficient chain-based routing protocol for underwater wireless sensor networks // J. Netw. Comput. Appl., 2017. Vol. 92, pp. 42–50.

12. Kao C.-C., Lin Y.-S., Wu G.-D., and Huang C.-J. A comprehensive study on the internet of underwater things: applications, challenges, and channel models. 2017. Sensors, vol. 17. № 7.

13. Jahanbakht M. et al. Internet of underwater things and big marine data analytics–a comprehensive survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2021. Т. 23. №. 2. С. 904-956.

14. Щербатюк А. Ф. Об использовании необитаемых подводных аппаратов при освоении месторождений глубоководных минералов //Подводные исследования и робототехника, 2023. №. 2. С. 44.

15. Hughes T. P. et al. Global warming and recurrent mass bleaching of corals // Nature, 2017. Vol. 543, pp. 373–377.

16. R Al-Zaidi., Woods J. C., Al-Khalidi M., and Hu H. Building novel VHF-based wireless sensor networks for the internet of marine things // IEEE, 2018. Sensors J., vol. 18. № 5, pp. 2131–2144.

17. Зарядное устройство для АНПА. URL: https://www.pinterest.com/pin/the-navy-is-working-on-underwater-wireless-charging-stations-for-robot-subs--84161086769797945/ (дата обращения 01.01.2023).

18. Разработки компании NeoSystem. URL: https://neosystems.eu/projects.html (дата обращения 01.01.2023).

THE INTERNET OF UNDERWATER THINGS: PHYSICAL ARCHITECTURE AND APPLICATION FEATURES

Tatarinov V., Gushchin V.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The article examines the physical architecture and application features of the Internet of Underwater Things. Two approaches are analyzed: a non-infrastructural one based on underwater sensors and communication nodes, and an infrastructural one based on the use of an underwater hybrid electro-optical cable. Existing Currently, the infrastructure-free approach has a number of serious drawbacks: limited bandwidth and the need for periodic recharging from external sources. The infrastructural approach will ensure coverage of large areas and autonomous operation. The article also draws attention to the field of application of the Internet of Underwater Things. The relevance of such works for Russia and the expediency of conducting further research are emphasized.

Key words: *Internet of underwater things, physical architecture, underwater wireless sensor networks, underwater sensors*

УДК 621.397.7-182.3
ГРНТИ 47.51.31

МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ТАБАЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

С. Л. Фёдоров, А. А. Горынцев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Согласно мониторингу ВЦИОМ, каждый третий из числа всего населения страны является курящим человеком. Сигареты стали настолько популярны, что превратились в повсеместную привычку, с которой государство начало вести борьбу, в том числе в медиаиндустрии. Основные работы по цензурированию в этой области в большей части выполняются руками человека, из-за чего замедляется процесс обработки. Поэтому задача автоматического контроля и цензурирования табачных изделий является актуальной в наше время. В данной работе будут рассматриваться основные подходы для решения данной задачи, излагаться принцип работы, а также выводы о практическом применении.

автоматизация, ТВ, видеотрансляция, обнаружение, нейронные сети

Курение является достаточно распространенным видом деятельности человека, о чем свидетельствует мониторинг ВЦИОМ о курении в стране. В данную категорию также входят люди, пользующийся электронными сигаретами или вейпами. Исходя из этого, можно сказать, что в современном обществе курение табака считается обыденным явлением. Такую популярность в обществе табачные изделия получили в том числе из-за использования курения в кино, как более глубокую передачу смысла, эмоций персонажа, а также отдельных ситуаций [1].

В кинопремьерах 20 века курение в одном случае рождало комичные ситуации, которые двигали сюжет посредством нелепых случайностей и заминок, а в другом было атрибутом определенных социальных классов, таких как бандиты и ковбои. Также дым и сигарета в руках дополняли образ крутого парня в кино, стимулируя смотрящего погружаться в атмосферу сюжета фильма. Также сигарета использовалась в качестве метафоры обозначения безграничной свободы, привязанности к жизни в качестве привычки, показателя успешности в действиях разных персонажей в решении проблем. Женщина с сигаретой на экране в сочетании с привлекательной внешностью являлась символом независимости, роковой природы [2].

Законодательный аспект и морально-этические нормы

В результате сигареты стали настолько популярными, что превратились в повсеместную привычку, с которой государство начало бороться, в том числе через кино. Одним из шагов в этом направлении стал Федеральный закон «Об ограничении курения табака» 2002 года и Федеральный закон от 23 февраля 2013 года №15-ФЗ «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака». Эти законы запрещают показ табачных изделий и процесса курения в новых аудиовизуальных произведениях, включая теле- и видеофильмы, театральные представления, а также радиопрограммы и кинохроники. Исключение составляют случаи, когда это действие является важной частью художественного замысла. Кроме того, вещатели и организаторы обязаны показывать социальную рекламу о вреде табака перед началом или во время показа произведения. Также закон требует предварительно предупреждать зрителей о вреде курения перед сценами с курением в фильмах, сериалах и других произведениях [3].

Автоматизация обнаружения курения табачных изделий

Автоматизация обнаружения курения табачных изделий на видеотрансляции является достаточно трудоемкой задачей. Основная сложность состоит в том, что телевизионные изображения подвержены высокой степени изменчивости за счет представленных на них объектов. Меняется положение, ракурс, освещение, цвет, форма и другие параметры. Также нужно отметить, что описание всех свойств объектов на изображении является практически невозможной задачей и описываемые свойства не всегда могут соответствовать всем объектам на изображении.

Для выделения границ на изображении может применяться фильтр Собеля (оператор Собеля). Его функционирование заключается в применении матрицы свертки к каждому пикселю для вычисления градиента яркости. Результатом работы фильтра является возможность определения мест на изображении перехода светлых и темных областей между собой.

Для вычисления положения и размеров объектов используется алгоритм «Моменты изображения». Данный алгоритм, анализируя форму объектов на изображении, использует статистические характеристики: площадь, центр масс, ориентация.

Эти методы широко применяются, например, для выделения ключевых черт лица (глаза, рот, нос), что может быть использовано как средство предобработки при анализе изображения [4].

Для анализа текстур в различных условиях освещения может быть применен метод локальных бинарных шаблонов. Основной принцип работы заключается в формировании локального окружения каждого пикселя и бинарного шаблона на основе яркостных значений этого окружения. Таким образом, каждый шаблон не зависит от яркости и описывает текстурные характеристики изображения.

Этот метод может быть использован при фиксации области дыма, как последствия использования продуктов курения в различных условиях освещения на изображениях вне помещений.

Каскады Хаара представляют собой метод обнаружения объектов на изображениях, основанный на машинном обучении, разработанный Полом Виолой и Майклом Джонсом. Данный метод использует набор классификаторов, которые обучены на примерах истинных и ложных объектов.

Этап обучение заключается в использовании большого набора изображений с наличием искомого объекта и набором изображений без него, которые поочередно обрабатываются методом. Результатом анализа являются признаки Хаара, представляющие собой различия в областях на изображении.

Работа алгоритма производится поэтапно. На первых этапах используются более простой набор классификаторов, исключая тем самым негативные области. Далее используются более сложные классификаторы для проверки оставшихся областей. Если в процессе анализа не обнаруживается сходство, то изображение отклоняется. Объект будет считаться обнаруженных если, изображение будет соответствовать всем классификаторам. Данный метод имеет высокую скорость анализа изображений и их использовать для обнаружений объектов повседневной жизни.

Этот метод может быть использован при локализации человека, руки с сигаретой, а также области фиксации области дыма. При достаточном наборе классификаторов данный метод позволит полностью выполнить анализ изображения с вынесение вердикта [5].

Использование нейронных сетей для анализа видеотрансляций

Использование глубоких нейронных сетей позволяет распознавать границы и контуры на изображении. Одним из вариантов данного анализа является нейросетевой детектор на основе архитектуры нейросети HED.

Использование сверточных нейронных сетей (CNN), помимо обнаружения границ и контуров на изображении, позволяет анализировать данные с пространственной структурой в изображении или видео. Используя стандартный метод обучения обратного распространения ошибки, CNN относится к технологии глубокого обучения. Похожая на воронку структура сверточных сетей позволяет при анализе переходить от общих признаков к конкретным параметрам. Свертка позволяет отсеивать лишнюю информацию, оставляя то, что характеризует искомый объект. Данный метод определения и анализа схож с процессом работы человеческого мозга.

Также, помимо CNN, существуют глубинные нейронные сети трансформеры на аналогии рекуррентных нейронных сетей. Трансформеры разработаны для обработки последовательных данных, одним из общеизвестных примеров которых являются тексты. В отличие от рекуррентных нейронных сетей, трансформеры позволяют проводить обработку данных в параллельном режиме, исключая последовательность в анализе. Благодаря этому сокращается время на обучение, а также скорость обработки данных. При сравнении с CNN в ряде случаев трансформеры могут получить более быстрое решение, благодаря гибкости, масштабируемости и параллельности обработки.

При анализе видео можно использовать нейронные сети. Главными достоинствами при их использовании будет то, что в работе с ними требуются меньше ручных корректировок результата. Практически всю нужную информацию нейросети извлекают сами в процессе обучения. Также нейросети способны изучать сложные признаки, адаптироваться к разным условиям на изображении. Главными недостатками является требовательность больших, специально собранных примеров изображений, а также высокой производительности вычислительных ресурсов при обучении нейросетевых детекторов [6].

Для эффективного и более правильного анализа видеотрансляции на наличие признаков курения использование нейронных сетей будет иметь более лучшую результативность, так как способность адаптироваться к различным изменениям на изображении является одной из ключевых функций для алгоритма. Однако подготовка таких сетей будет требовать большие

объемы информационного и вычислительного ресурса. Классические методы распознавания могут быть использованы в качестве предобработке, а также в локальных ситуациях, когда некоторые из заданных параметров будет практически неизменен.

Список используемых источников

1. Сайт «ВИЦОМ». «Курение в России: мониторинг». URL: https://wciom.ru/ analytical-reviews/analiticheskii-obzor/kurenie-v-rossii-monitoring-2022 (дата обращения 01.01.2023).

2. Сайт «Кинопоиск». «Эволюция кинообраза. Сигарета и курильщики на экране» URL: https://www.kinopoisk.ru/media/article/2987142/ (дата обращения 01.01.2023).

3. Сайт «Гарант ру». «Информационно правовой портал». URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70221478/?ysclid=m8x5qj3qf53301478

4. Алгоритмы распознавания объектов / А. А. Цветков, Д. К. Шорох, М. Г. Зубарева [и др.]. Текст: непосредственный // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2016 г.). Санкт-Петербург: Свое издательство, 2016. С. 20-28. URL: https://moluch.ru/conf/tech/archive/166/10825/ (дата обращения 22.12.2024).

5. Сайт «SimbirSoft». «Методы распознавания образов: от простых до сложных». URL: https://www.simbirsoft.com/blog/metody-raspoznavaniya-obrazov-ot-prostykh-do-slozhnykh/ (дата обращения 01.01.2023).

6. Сайт «Центр 2М». «Нейронные сети: распознавание образов и изображений». URL: https://center2m.ru/ai-recognition (дата обращения 01.01.2023).

METHODS FOR AUTOMATIC DETECTION OF TOBACCO PRODUCTS IN TELEVISION IMAGES

Gorincev A., Fedorov S.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Cigarettes have become so popular that they have become a widespread habit, which the state has begun to combat, including on video and in cinema. The main censorship work in this area is mostly carried out by human hands, which slows down the processing. Therefore, the task of automatic control and censorship of tobacco products is relevant in our time. This paper will consider the main approaches to solving this problem, outline the principle of operation, as well as conclusions about practical application.

Key words: *Automation, TV, video broadcasting, detection, neural networks*

УДК 004.946
ГРНТИ 28.23.15

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ДВИЖЕНИЙ И ЦИФРОВЫХ АВАТАРОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС

С. Л. Фёдоров, Д. А. Татаренков, Д. Д. Федотов, М. Д. Хрипунов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматривается возможность интеграции виртуальных аватаров для повышения эффективности образования в условиях снижения концентрации внимания у слушателей. Предлагается использование виртуальных аватаров преподавателей на очных и дистанционных занятиях для повышения вовлеченности студентов. Будут рассматривается три варианта реализации (2D, 3D, FBT) виртуальных аватаров и способы захвата движения для их анимации.

виртуальные аватары, VR, захват движений, анимация, образование, дистанционное обучение, витубинг

Современная образовательная среда сталкивается с рядом вызовов, связанных с изменением психологических особенностей нового поколения [1]. Снижение концентрации внимания и способности к восприятию информации в течение долгого времени требуют кардинальных изменений в подходах к обучению. В условиях цифровизации и активного развития информационных технологий традиционные методы преподавания уже не всегда способны эффективно доносить информацию до студентов [2].

Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является использование виртуальных аватаров для проведения лекций и семинаров. Представление преподавателя в виде виртуального аватара на дистанционных и лекционных занятиях способно привлечь внимание аудитории, что приведет к лучшей усвояемости материала за счет динамичной и визуально насыщенной подачи информации. Такие технологии уже применяются в смежных областях, и их адаптация к образовательному процессу может привести к значительному повышению эффективности обучения.

В данной статье основное внимание уделено технической стороне анимации моделей в реальном времени, что позволяет создавать цифровых аватаров для образовательных целей. Однако стоит отметить, что данная статья вдохновлена таким явлением, как витубинг. Витубинг (от англ. VTuber –

виртуальный ютубер) – это явление, при котором блогеры и стримеры используют виртуальные аватары для создания контента и взаимодействия с аудиторией. Популярность витуберов обусловлена сочетанием анонимности и привлекательности анимационных персонажей, что особенно привлекает современных пользователей интернета [3].

В первую очередь стоит рассмотреть и обосновать сценарии применения виртуальных аватаров в образовательном процессе. Так, в очных лекциях демонстрация анимированного образа преподавателя параллельно с презентацией позволит лучше удерживать внимание студентов на лекционном материале. Для сценария дистанционного проведения занятий виртуальные аватары подходят больше всего, так как они позволяют компенсировать недостаточное качество веб-камер преподавателей и избавляют их от необходимости поддерживать безупречный внешний вид.

Современные технологии позволяют применять аватаров для создания образовательного контента в виртуальном окружении, что открывает широкие перспективы для развития и модернизации учебного процесса. Кроме того, возможно интегрировать виртуальный аватар преподавателя с генеративными языковыми моделями, что позволит автоматизировать некоторые процессы в образовании и обеспечить круглосуточную поддержку студентов.

Можно выделить три вариации виртуальных аватаров: двумерные (2D), трехмерные (3D) и с полным захватом движений (full body tracking, FBT). 2D-аватары представляют собой анимированные изображения и используются в простых онлайн-платформах благодаря низким вычислительным требованиям и простоте создания. Исходное 2D-изображение обычно создается в графическом редакторе, где художник прорисовывает персонажа, а затем разбивает его на отдельные элементы – глаза, рот, волосы, лицо, различные аксессуары. Затем эти слои импортируются в специализированное ПО (как пример – Live2D Cubism), где производится риггинг – т.е. подготовка к анимированию аватара: определяются точки привязки, создаются деформирующие сетки (mesh) и настраиваются параметры движения (рис. 1). После импорта в определенное ПО, как например VTube Studio (рис. 2), программа анимирует ее с помощью видео с веб-камеры или, даже, смартфона [4]. Благодаря mesh-деформации анимация двумерного аватара не сводится просто к перемещению статических изображений, из-за чего достигается плавное и реалистичное движение.

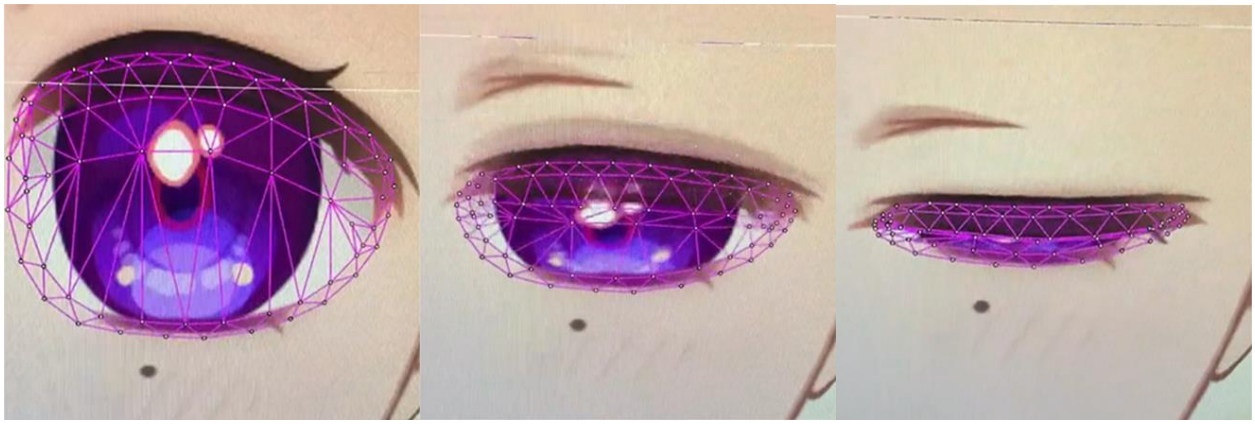


Рис. 1. Пример создания *mesh*-деформации

Рис. 2. Двумерный аватар в VTube Studio

3D-аватары создаются как полноценные объемные объекты с геометрией, текстурами и материалами, что делает их работу более предсказуемой и стандартизированной. В процессе создания 3D аватара сначала моделируется базовая форма персонажа в 3D-программах (например, Blender или Maya), затем также необходимо провести риггинг – создать скелет модели и настроить анимационные деформации для лица [5].

Аватары с FBT являются такими же 3D моделями, но используют системы захвата движений для дополненной или виртуальной реальности, такие как Kinect или SlimeVR, и позволяют полностью переносить человека в виртуальную среду, а наиболее продвинутые системы – и взаимодействовать с ней. На схеме (рис. 3) приведены необходимы для создания каждого из типов аватаров устройства и процессы, пунктиром указаны опциональные элементы.

Как видно из схемы, требования к оборудованию у 2D- и 3D-аватаров практически идентичные и вполне реализуемы на практике. Однако в совре-

менном мире двумерные аватары имеют большую популярность, что обусловлено легкостью создания и вопросом эстетики. Создание эстетически удовлетворительного трехмерного персонажа – задача нетривиальная. 2D-аватары в большинстве случаев выглядят приятно для пользователей, но они ограничены аниме или мультипликационной стилистикой. Трехмерные аватары же могут быть выполнены в любой стилистике, в том числе и фотореалистичной, например с помощью технологии MetaHuman.

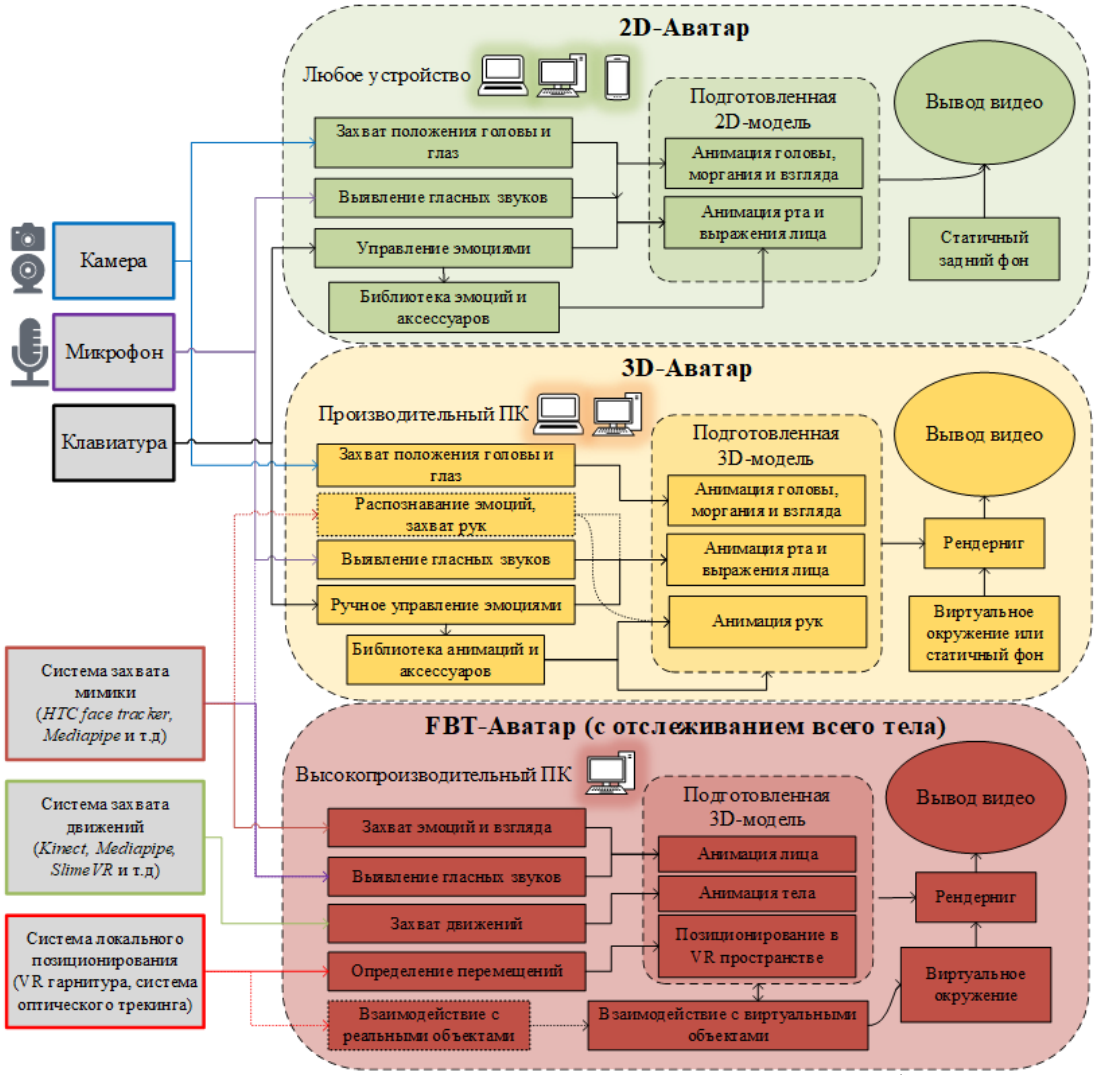


Рис. 3. Обобщенная схема создания виртуальных аватаров

Существует технология анимации рук у 2D-аватаров, но трехмерные подходят для этого гораздо лучше. Однако это в любом случае сопряженно с некоторыми сложностями: использование обычной камеры не позволит добиться плавности и точности движений. Для анимации рук следует использовать решения, основанные на компьютерном зрении (OpenCV,

MediaPipe или ARKit), альтернативой может быть использование перезаписанных анимаций и распознавания эмоций [6]. Подобные технологии используются и для анимации лица.

Таким образом, и 2D, и 3D аватары могут быть эффективно интегрированы в образовательный процесс, для этого потребуется только установка и настройка соответствующего ПО и создания виртуальных аватаров исходя из пожеланий преподавателя или учителя. Что касается аватаров с отслеживанием всего тела – для них необходимо специализированное дорогостоящие оборудование и ПО, из-за чего их внедрение затруднительно. Тем не менее они уже сейчас могут использоваться для создания образовательного контента нового поколения, включающего прямое взаимодействие с обучающими материалами и работу в виртуальном окружении (рис. 4). В ТАБЛИЦЕ 1 приведено сравнение наиболее оптимальных способов отслеживания всего тела.

Рис. 4. Пример презентации с FBT-аватаром

ТАБЛИЦА 1. Сравнение наиболее доступных технологий захвата движений

Технология	MediaPipe	Kinect	SlimeVR
Метод захвата	Компьютерное зрение	Оптический, с использованием сенсора глубины	Система инерционных датчиков (IMU)
Доступность	Открытое и бесплатное ПО [7]	Зависит от модели	Самая доступная система отслеживания
Задержка	50-80 мс	60 мс (version 2)	20-30 мс
Точность	Средняя – чувствителен к качеству видеосигнала и освещению	Средняя, но при оптимальных условиях	Высокая, но возможен дрейф сенсоров, отсутствует локальное позиционирование

Список используемых источников

Пластинина Ю. В., Носакова Т. В., Теслюк Л. М. Исследование особенностей восприятия информации у студентов в условиях цифровизации образования // Новые информационные технологии в образовании и науке, 2019.№ 2. С. 40-45.

2. Фролова Е. В., Рогач О. В. Специфика восприятия студентами процессов цифровизации образования: осмысление опыта онлайн-обучения в условиях пандемии // Перспективы науки и образования. 2021. № 3 (51). С. 43-54.

3. Lu Z., Shen C., Li J., Shen H., and Wigdor D.. More Kawaii than a Real-Person Live Streamer: Understanding How the Otaku Community Engages with and Perceives Virtual YouTubers. In Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'21. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2021

4. Shirai A.. REALITY: Broadcast your virtual beings from everywhere. In ACM SIGGRAPH 2019 Appy Hour, pp. 1–2. 2019.

5. Козлов Д. В., Татаренков Д. А.. Применение оснастки в анимации трехмерных объектов // Сборник лучших докладов Всероссийской научно-технической и научно-методической конференции ПКМ-2024. Санкт-Петербург, 2025. С. 303–307.

6. Man To Tang, Victor Long Zhu, and Voicu Popescu. AlterEcho: LooseAvatar-Streamer Coupling for Expressive VTubing. In 2021 IEEE InternationalSymposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR). С. 128–137.

7. Официальная документация MediaPipe // URL: ai.google.dev/edge/mediapipe /solutions (дата обращения 18.02.2025).

INTEGRATING MOTION TRACKING TECHNOLOGIES AND VIRTUAL AVATARS INTO THE EDUCATIONAL PROCESS

Fedorov S., Tatarenkov D., Fedotov D., Khripunov M.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article explores the integration of motion tracking technologies and digital avatars to enhance educational effectiveness amid decreasing attention spans in the new generation. It proposes the use of virtual instructor avatars in both in-person and remote classes to boost student engagement. Three implementation variants – 2D, 3D, and full-body tracking (FBT) - and their animation methods are examined in detail.

Key words: *virtual avatars, VR, motion tracking, animation methods, education, remote education, VTubing*

УДК 621.397.48
ГРНТИ 47.51.39

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ И СПОСОБЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ВИДЕОКОНТЕНТА

С. Л. Фёдоров, А. Н. Тучкевич

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В данной работе подробно рассматриваются нейросетевые модели, которые наиболее эффективно применимы для решения задач обнаружения объектов в области редактирования видеоконтента. Приводится описание основных задач, которые могут быть решены с помощью этих моделей. Также в докладе рассматриваются различные методы и подходы к реализации таких систем редактирования видеоконтента, включая использование алгоритмов глубокого обучения для улучшения точности и скорости обработки.

обнаружение объектов, компьютерное зрение, нейронные сети, машинное обучение, CNN, DINO, OWLv2

В контексте обработки видеоконтента обнаружение объектов может применяться:

– в системах реального времени;
– при ручном видеомонтаже;
– для постобработки уже готового видеоконтента.

Основные рассмотренные в данном докладе нейросетевые модели это:

1. Модели YOLO;
2. Модели DINO;
3. Модель OWLv2.

Основными задачами обнаружения объектов являются:

– автоматическая классификация: автоматический анализ видеокадров, чтобы автоматически определять объекты, находящиеся в кадре, и классифицировать отдельные кадры, или целые видео;
– отслеживание объектов для применения эффектов или корректировок к определенным элементам на протяжении всего видео. Примеры применяемых эффектов:
  - цветокоррекция/перекрашивание объектов;
  - изменение освещения;
  - редактирование текстур/резкости;

- размытие/перекрытие объекта.

Модели, представленные в данном докладе, выполняют задачу обнаружения объектов с достаточной точностью для того, чтобы находить применение в системах реального времени.

Выбор используемой модели зависит от следующих факторов:

– потенциальная скорость движения обнаруживаемых объектов;
– комплексность сцены, за которой ведется наблюдение;
– какие выходные данные необходимы для конкретной задачи;
– доступные ресурсы для подготовки системы;
– степень разнообразия обнаруживаемых объектов;
– необходимость во взаимодействии с естественным языком.

Модели YOLO просматривают все изображение только один раз, что делает их особенно подходящими для обнаружения объектов в реальном времени. На выходе они предоставляют ограничительную рамку и класс каждого обнаруженного объекта. Для обнаружения объектов в моделях YOLO используются сверточные нейронные сети (CNN). Алгоритм YOLO делит изображение на сетку размером SxS [1]. Каждая из ее ячеек отвечает за поиск и классификацию объекта, который в ней находится. Соответственно, по координатам ячеек прогнозируется класс объекта, вероятность того, что объект будет присутствовать в ячейке, и размеры ограничительной рамки. Схема работы моделей YOLO продемонстрирована на рис. 1.

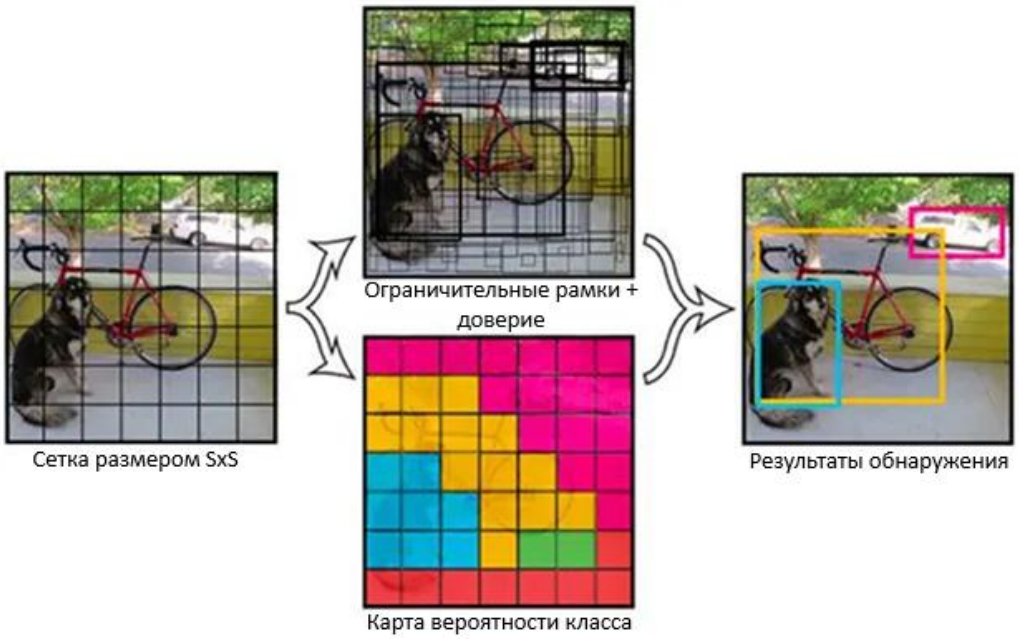


Рис. 1. Схема работы моделей YOLO

Поскольку в ячейках производится и поиск, и классификация, то несколько ячеек, обнаруживающих один и тот же объект с различными прогнозами, приводят к большому количеству продублированных прогнозов. Для решения этой проблемы в YOLO используется немаксимальное подавление (NMS). В алгоритме NMS сначала из списка прогнозов удаляются рамки, вероятность которых ниже определенной характеристики “доверия” (confidence). Затем прогноз с наивысшим доверием рассматривается как “текущий” прогноз, а все остальные прогнозы с меньшим доверием и те у которых IoU с текущим прогнозом превышает определенный порог (например, 0,5), помечаются как избыточные и подавляются. Результаты работы этого алгоритма демонстрируются на рис. 2. Преимущества и недостатки моделей YOLO перечислены в таблице 1.

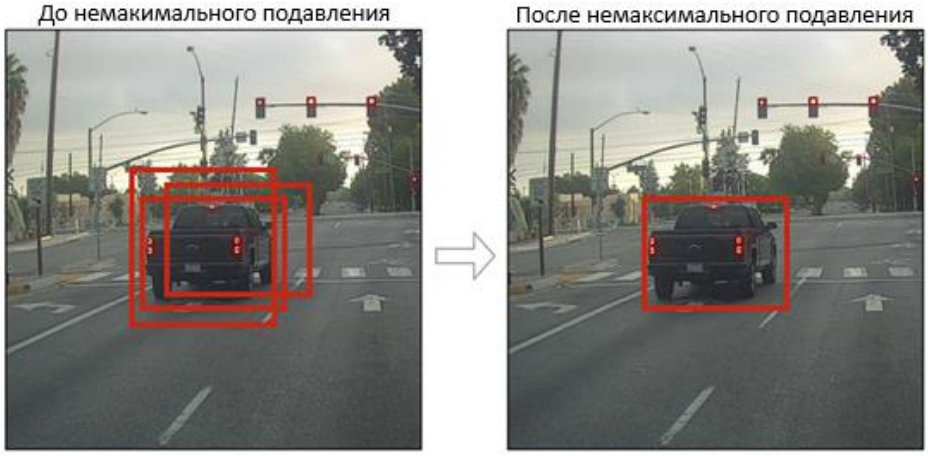


Рис. 2. Результат работы алгоритма NMS

ТАБЛИЦА 1. Преимущества и недостатки моделей YOLO

Преимущества	Недостатки
Высокое быстродействие	Пониженная точность локализации
Независимость от размеров объектов и их угла наклона	Зависимость от качества изображений и видео
Высокая точность локализации объектов	Единственные выходные данные модели – это ограничительные рамки
	Сильная зависимость от качества оптимизации тренировочных данных и необходимость повторного обучения для каждого нового случая применения

Модели DINO используют метод обучения с самоконтролем. Это означает, что данные модели не требуют больших объемов маркированных тренировочных данных, а обучение модели происходит с использованием предтекстовых задач (т.е. задач, не требующих маркированных данных). Для самообучения используются две сети, «учитель и «ученик», с одинаковой архитектурой [2].

Чтобы подготовить данные для модели, используются изображения и данные из курируемых и не курируемых источников. Затем эти изображения преобразуются в числовые векторы. После этого не курируемые изображения дедуплицируются с помощью метода главных компонент, а затем дедуплицированные изображения проверяются на наличие неподходящих тренировочных изображений. В конце все данные объединяются для создания улучшенного набора данных, используемого для обучения модели. Схема подготовки набора тренировочных данных изображена на рис. 3.

Рис. 3. Схема создания набора тренировочных данных

Результаты работы модели DINOv2 демонстрируются на рис. 4. Преимущества и недостатки моделей DINO перечислены в таблице 2.

Рис. 4. Результаты работы модели DINOv2, в таком порядке: оригинальное изображение – результат оценки глубины – результат семантической сегментации

ТАБЛИЦА 2. Преимущества и недостатки моделей DINO

Преимущества	Недостатки
Выполнение операции семантической сегментации.	Меньшая скорость обнаружения в сравнении с такими моделями как YOLO.
Выполнение операции оценки глубины.	Сложность создания эффективных программ обучения с самоконтролем.
Уменьшенная зависимость от размеченных данных.	
Возможность масштабирования используемых наборов данных.	

В модели OWLv2 реализовано обучение без примеров. Под обучением без примеров понимается способность модели распознавать и классифицировать объекты или выполнять задачи, не видя примеров этих объектов или задач во время обучения.

Основные компоненты архитектуры OWLv2 [3]:

1. Текстовый кодер – анализирует предоставленное текстовое описание, разбивая его на части, чтобы понять характеристики объекта. К ним относятся такие свойства, как форма, размер, цвет и назначение, а также взаимосвязи между объектом и другими элементами сцены. Используя свои накопленные данные, кодировщик текста преобразует их в векторное представление – сжатый математический формат, отражающий суть объекта на основе текста.

2. Зрительный кодер – получает входное изображение и использует предварительно обученные модели распознавания изображений для извлечения визуальных признаков. Как и в случае с кодировщиком текста, он преобразует результаты визуального анализа в векторное представление, передавая на выход содержимое изображения в математическом формате.

3. Проецирование и сопоставление – текстовый, и зрительный кодеры создают векторные представления, но они существуют в разных математических пространствах. Для преодоления этого разрыва в OWLv2 используется проекционный слой. Этот слой переводит оба вектора в общую область, где похожие объекты имеют близкие векторы. Схема архитектуры модели представлена на рис. 5.

При обнаружении объекта вектор изображения сравнивается с предварительно вычисленными текстовыми векторами, представляющими известные объекты. Объект с наиболее близким совпадением векторов в проекционном слое рассматривается как наиболее вероятный кандидат на объект,

присутствующий на изображении. Результаты работы модели OWLv2 представлены на рис.6. Преимущества и недостатки данной модели перечислены в таблице 3.

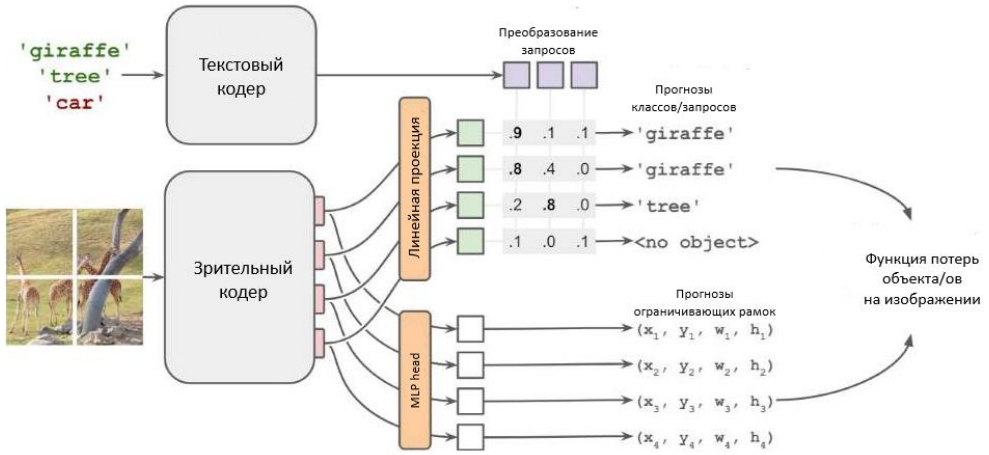


Рис. 5. Архитектура модели OWLv2

Рис.6.1. Самая правая бутылка

Рис.6.2. Второй самолет на фоне

Рис.6.3. Торт с вишней

Рис. 6. Результаты работы модели OWLv2 с соответствующими запросами.

ТАБЛИЦА 3. Преимущества и недостатки модели OWLv2

Преимущества	Недостатки
Обучение без примеров и уменьшение зависимости от размеченных данных.	Меньшая скорость обнаружения в сравнении с такими моделями как YOLO.
Обнаружение редких категорий объектов.	Единственные выходные данные модели – это ограничивающие рамки.
Возможность поиска объектов в динамических средах и при меняющихся типах объектов.	
Возможность более глубокого поиска схожих объектов.	

Список используемых источников

1. Ao Wang, et al. YOLOv10: Real-Time End-to-End Object Detection, May 2024.
2. Hao Zhang, et al., DINO: DETR with Improved DeNoising Anchor Boxes for End-to-End Object Detection", Mar. 2022.
3. Minderer M., et al. Scaling Open-Vocabulary Object Detection. URL: e6d58fc68c0f3c36ae6e0e64478a69c0-Paper-Conference.pdf. (дата обращения 01.01.2023).

HYBRID TELEVISION: PRINCIPLES AND APPLICATIONS

Fyodorov S. Tuchkevich A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper details the neural network models that are most effectively applied to solve object detection problems in the field of video content editing. A description of the main tasks that can be solved with the help of these models is given. It also discusses various methods and approaches to the implementation of such video content editing systems, including the use of deep learning algorithms to improve accuracy and processing speed.

Key words: *object detection, computer vision, neural networks, machine learning, CNN, DINO, OWLv2.*

УДК 621.396.721
ГРНТИ 47.47.31

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ ДЕМОНСТРАТОРА УПРАВЛЕНИЯ РАДИОЛИНИЕЙ С ПОМОЩЬЮ XAPP В SRSRAN НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИО

Г. А. Фокин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Среда srsRAN представляет собой программную реализацию стека протоколов сетей радиодоступа 4G/LTE и 5G/NR с открытым исходным кодом. Под xApp понимают программный модуль управления параметрами мультивендорной сети радиодоступа, работающий в интеллектуальном радиоконтроллере RIC сети с открытой архитектурой Open RAN. Формирование рынка отдельных технологий и сетевых приложений, встраиваемых в программно-определяемую сеть с открытой архитектурой, обозначено в Стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года. Это подтверждает актуальность и востребованность данного направления исследований и разработок. Программная реализация и экспериментальная апробация демонстратора управления радиолинией с помощью xApp в srsRAN на отладочных SDR платах позволит наработать компетенции в передовом сегменте исследований и разработок, направленных на создание телекоммуникационного оборудования российского происхождения (ТОРП) для сетей 4G/LTE и 5G/NR.

4G/LTE, 5G/NR, RAN, Open RAN, srsRAN

Использование модельно ориентированного проектирования и программно-конфигурируемого радио SDR в задачах прототипирования современных и перспективных систем радиосвязи является актуальным и востребованным направлением исследований [1–3]. Развитием данного подхода является макетирование радиолиний сетей радиодоступа 4G/5G с использованием среды srsRAN [4]. Для разработки такого демонстратора в работе рассматриваются принципы построения и функционирования сетей с открытой архитектурой Open RAN (O-RAN) [5–27].

Стеки протоколов 5G работают в разных масштабах времени и их вычислительные требования растут с разной скоростью в зависимости от количества пользователей. Для гибкого учета этого обстоятельства консорциум 3GPP представил функциональные декомпозиции для оборудования 5G, разделив монолитные структуры сетей радиодоступа RAN из универсальных удаленных радиоблоков RRU (Remote Radio Unit) высокочастот-

ных сигналов и блоков обработки сигналов в области информационных частот BBU (Base Band Unit) на ряд дискретных модулей RAN, которые могут быть размещены и масштабированы по требованию.

Подход O-RAN предполагает разделение базовых станции gNodeB на следующие программно-аппаратные модули: модуль управления CU (Control Unit), распределенный модуль DU (Distributed Unit) и радиомодуль RU (Radio Unit), которые реализуют различные функции стека протоколов 5G RAN. Модуль управления CU реализует функции на более высоких уровнях, которые работают в широких временных масштабах операций связанных, например, с обработкой пакетов. Распределенный модуль DU обрабатывает критичные по времени операции на нижних уровнях, например, операции обработки сигналов. Радиомодуль RU управляет радиочастотными компонентами. Еще один шаг вперед в декомпозиции связан с разделением модуля управления CU на два логических компонента: модуль в плоскости пользователя CU-User Plane (UP) отвечает за уровень UP протокола конвергенции пакетных данных PDCP и уровень протокола адаптации сервисных данных SDAP. Модуль в плоскости управления CU-Control Plane (CP) отвечает за CP уровня PDCP и уровень управления радиоресурсами RRC. Это разделение позволяет разворачивать модули в разных местах с разными аппаратными средствами, например, цифровые сигнальные процессоры DSP и программируемые логические интегральные схемы FPGA. Принципы построения O-RAN иллюстрируются на рис. 1 [5].

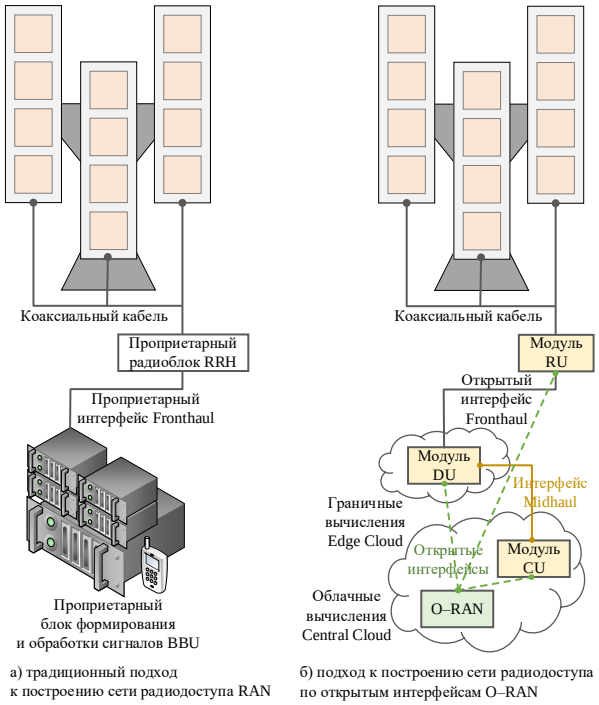


Рис. 1. Сравнение подходов RAN и O-RAN к построению сети радиодоступа

Функциональное разделение в O-RAN способствует разделению между аппаратными и программными компонентами сети радиодоступа, аналогично парадигме Cloud RAN (C-RAN), поскольку DU, CU-UP и CU-CP могут функционировать как программные модули в иерархии облачных платформ и автономно развертываться по требованию. В отличие от C-RAN, O-RAN не игнорирует базовую инфраструктуру вычислений и виртуализации, но вместо этого O-RAN включает ее как часть экосистемы, известной как Open Cloud (O-Cloud). Этот компонент представляет собой абстракцию, которая объединяет 1) физические узлы, например, серверы и центры обработки данных; 2) программные модули, например, контейнеры виртуальных машин; и 3) функции управления, например, FCAPS (Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security).

O-RAN взаимодействует с O-Cloud через управление службами и оркестровку SMO (Service Management and Orchestration), центральный компонент, отвечающий за оркестровку, управление и автоматизацию в инфраструктуре MNO, например, OSM (Open Source Management and Orchestration) или ONAP (Open Networking Automation Platform). Новый интерфейс O2 соединяет SMO и O-Cloud, обеспечивая программное управление и развертывание сетевых функций, определение объектов O-Cloud, а также мониторинг, отказоустойчивость и стратегии обновления.

В рамках функционального разделения 3GPP стандартизировал интерфейсы для связи между CU, DU и RU. Однако эти стандарты позволили поставщикам вводить собственные расширения между их компонентами, что привело к привязке к поставщику. Чтобы смягчить эту проблему, ORAN Alliance создал спецификации на основе 3GPP для открытых интерфейсов между компонентами RAN, которые обеспечивают полную совместимость поставщиков. Кроме того, O-RAN вводит новые стандартизированные интерфейсы API для контроля и управления каждым узлом E2, включая gNodeB и их функциональные разделения CU, DU и RU. Новые интерфейсы: 1) E2 для управления различными функциями RAN, предоставляемыми каждым узлом; 2) O1 для эксплуатации и обслуживания каждого узла, установления тактовых импульсов, настройки сигналов тревоги и отчетности KPM. Из-за этих новых открытых интерфейсов и API узлы RAN в O-RAN дублируются как открытые (O-) компоненты, например, O-CU(-CP/UP), O-DU и O-RU [5].

С введением открытых и программируемых интерфейсов во всех узлах E2 O-RAN может организовать их работу под общим контролем и управлением, чтобы оптимизировать их производительность. Альянс O-RAN предусматривает два различных интеллектуальных контроллера сети радиодоступа RIC (RAN Intelligent Controller) для запуска замкнутых контуров управления в разных местах и временных масштабах: 1) Near-RT RIC (Near-Real-Time), развернутый ближе к периферии и узлам RAN для выполнения циклов управления в режиме, близком к реальному времени, с периодичностью от 10 мс до 1000 мс, поддерживающих приложения xApps с настраиваемой логикой управления для выполнения управления радиоресурсами; и 2) Non-RT RIC (Non Real-Time RIC), развернутый как компонент структуры SMO MNO для выполнения операций в более широких масштабах времени, отличных от реального длительностью более 1 с, управления моделями ML и поддержки приложений rApps с пользовательской логикой управления для долгосрочного управления. RIC взаимодействуют через свой интерфейс A1, который Non-RT RIC использует для оптимизации Near-RT RIC. На рис. 2 показана архитектура O-RAN, предложенная ORAN Alliance: желтый относится к узлам E2 и RAN, синий к Near-RT RIC и его компонентам, зеленый к Non-RT RIC, фиолетовый к SMO, розовый к контейнерам, а серый к базовой программной или аппаратной инфраструктуре, поддерживающей компоненты O-RAN [5].

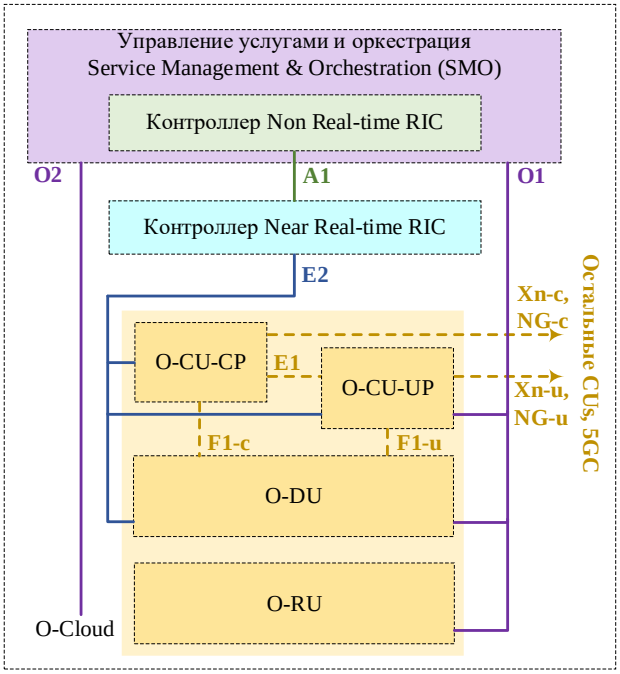


Рис. 2. Логическая архитектура сети радиодоступа с открытыми интерфейсами O–RAN

Дальнейшее исследование сводится к разработке SDR демонстратора управления радиолинией gNB–UE с помощью xApps в среде srsRAN.

Список используемых источников

1. Фокин Г. А. Принципы и технологии цифровой связи на основе программно-конфигурируемого радио: обзор современных тенденций в области создания комплекса подготовки специалистов // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 1. С. 78–94.

2. Фокин Г. А. Современные тенденции в области программно-конфигурируемого радио // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Сборник научных статей: в 4 томах. 2017. С. 271-276.

3. Волгушев Д. Б., Киреев А. В., Фокин Г. А. Модельно-ориентированный синтез систем рдиосвязи на основе программно-конфигурируемого радио // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей в 2 т. 2015. Т. 1. С. 50-53.

4. Фокин Г. А., Дюдин А. И. Экспериментальное исследование зависимости модуляционно-кодирующих схем MCS от индикатора качества канала CQI в лабораторных условиях с использованием SDR макета радиолинии eNB-UE в среде srsRAN // Экономика и качество систем связи. 2024. № 4 (34). С. 66-80.

5. Santos J.F., Huff A., Campos D., Cardoso K.V., Both C.B., DaSilva L.A. Managing O-RAN Networks: xApp Development From Zero to Hero // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2025.

6. Santos J. F. xApp Development from Zero to Hero: Online Resources. URL: https://github.com/santos-j/xapp_development_zero_to_hero (дата обращения 18.03.2025).

7. Telecom Infra Project. URL: https://telecominfraproject.com/ (Дата обращения 18.03.2025).

8. O-RAN Alliance. URL: https://www.o-ran.org/ (дата обращения 18.03.2025).

9. O-RAN Software Community. URL: https://https://o-ran-sc.org/ (Дата обращения 18.03.2025).

10. The Linux Foundation. URL: https://www.linuxfoundation.org/ (Дата обращения 18.03.2025).

11. Current xApps. URL: https://lf-o-ran-sc.atlassian.net/wiki/display/ RICA/Current +xApp (дата обращения 18.03.2025).

12. TIP Academy. Open RAN Curriculum. URL: https://www.tip.academy/open-ran-curriculum (дата обращения 18.03.2025).

13. Intelefy University. O-RAN Hands-on Training. URL: https://courses.intelefy.com/courses/o-ran-hands-on-training (дата обращения 18.03.2025).

14. Rimedo Labs. Wireless Technical Courses. URL: https://rimedolabs.com/training (Дата обращения 18.03.2025).

15. Bonati L., Polese M., D'Oro S., del Prever P.B., Melodia T. 5G-CT: Automated Deployment and Over-the-Air Testing of End-to-End Open Radio Access Networks // IEEE Communications Magazine. 2025. Vol. 63. № 1. PP. 155-160.

16. Bonati L., Polese M., D'Oro S., Basagni S., Melodia T. Intelligent Closed-loop RAN Control with xApps in OpenRAN Gym // European Wireless 2022; 27th European Wireless Conference, Dresden, Germany, 2022. PP. 1-6.

17. Bonati L., D'Oro S., Polese M., Basagni S., Melodia T. Intelligence and Learning in O-RAN for Data-Driven NextG Cellular Networks // IEEE Communications Magazine, 2021. Vol. 59. № 10. PP. 21-27.

18. Polese M., Bonati L., D'Oro S., Basagni S., Melodia T. Understanding O-RAN: Architecture, Interfaces, Algorithms, Security, and Research Challenges // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2023. Vol. 25. № 2. PP. 1376-1411.

19. D'Oro S., Bonati L., Polese M., Melodia T. OrchestRAN: Network Automation through Orchestrated Intelligence in the Open RAN // IEEE INFOCOM 2022 - IEEE Conference on Computer Communications, London, United Kingdom, 2022. PP. 270-279.

20. Li X. et al. Integrating nApps in 5G for Verticals: Architecture Innovation and Technology Enablers // IEEE Communications Magazine. 2025. Vol. 63. № 1. PP. 161-167.

21. A. Garcia-Saavedra and X. Costa-Pérez, "O-RAN: Disrupting the Virtualized RAN Ecosystem," in IEEE Communications Standards Magazine, vol. 5. № 4. PP. 96-103, December 2021.

22. Garcia-Saavedra A., Costa-Pérez X. O-RAN: Disrupting the Virtualized RAN Ecosystem // IEEE Communications Standards Magazine. 2021. Vol. 5. № 4. PP. 96-103.

23. Niknam S. et al. Intelligent O-RAN for Beyond 5G and 6G Wireless Networks // 2022 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Rio de Janeiro, Brazil, 2022. PP. 215-220.

24. Bimo F.A. et al. OSC Community Lab: The Integration Test Bed for O-RAN Software Community // 2022 IEEE Future Networks World Forum (FNWF), Montreal, QC, Canada, 2022. PP. 513-518.

25. Hoffmann M. et al. Open RAN xApps Design and Evaluation: Lessons Learnt and Identified Challenges // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2024. Vol. 42. № 2. PP. 473-486.

26. Kouchaki M., Marojevic V. Actor-Critic Network for O-RAN Resource Allocation: xApp Design, Deployment, and Analysis // 2022 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Rio de Janeiro, Brazil, 2022. PP. 968-973.

27. Kist M., Santos J.F., Collins D., Rochol J., DaSilva L.A., Both C.B. AIRTIME: End-to-End Virtualization Layer for RAN-as-a-Service in Future Multi-Service Mobile Networks // IEEE Transactions on Mobile Computing. 2022. Vol. 21. № 8. PP. 2701-2717.

STATEMENT OF THE TASK OF DEVELOPING A RADIO LINK CONTROL DEMONSTRATOR USING XAPP IN SRSRAN BASED ON SOFTWARE-DEFINED RADIO

Fokin G.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The srsRAN environment is a software implementation of the protocol stack of 4G/LTE and 5G/NR radio access networks with open-source code. xApp is a software module for managing the parameters of a multivendor radio access network, operating in the intelligent radio controller RIC of the network with an open RAN architecture. The formation of a market for individual technologies and network applications built into a software-defined network with an open architecture is outlined in the Strategy for the Development of the Communications Industry of the Russian Federation for the period up to 2035. This confirms the relevance and demand for this area of research and development. Software implementation and experimental testing of the radio line control demonstrator using xApp in srsRAN on debug SDR boards will allow developing competencies in the advanced segment of research and development aimed at creating telecommunications equipment of Russian origin (TORP) for 4G/LTE and 5G/NR networks.

Key words: *4G/LTE, 5G/NR, RAN, Open RAN, srsRAN*

УДК 621.396.969
ГРНТИ 47.49.31

АНАЛИЗ ДАЛЬНОМЕРНОГО МЕТОДА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В СЕТЯХ СТАНДАРТА 802.11az

Г. А. Фокин, Е. С. Багаев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Позиционирование в беспроводных локальных сетях Wi-Fi заключается в определении местоположения пользовательского устройства или абонентской станции STA с использованием инфраструктуры точек доступа AP с известными координатами. Традиционно в БЛС стандартов рабочей группы IEEE 802.11 использовался метод радиоотпечатков, основанный на предварительном сборе измерений уровней принимаемых сигналов RSSI, занесении их в базу данных с координатной привязкой и последующем сопоставлении текущих измерений с предварительно записанными в БД. Данный метод характеризовался высокой трудоемкостью подготовки БД с радиокартами измерений RSSI, принятых от AP, и невысокой точностью оценки координат STA. С появлением стандарта 802.11az, который специализирован для высокоточного позиционирования дальномерным методом, достижение дециметровой точности оценок координат STA внутри помещений становится практически реализуемой задачей. В настоящей работе выполняется анализ работы дальномерного метода позиционирования в сетях 802.11az.

стандарт 802.11az, позиционирование, беспроводные локальные сети Wi-Fi

Позиционирование в беспроводных локальных сетях (БЛС) Wi-Fi заключается в определении местоположения (ОМП) пользовательского устройства или абонентской станции STA (Station) с использованием инфраструктуры точек доступа AP (Access Point). С появлением стандарта 802.11az, который специализирован для высокоточного позиционирования, достижение дециметровой точности оценок координат внутри помещений становится практически реализуемой. Методы ОМП пользовательского устройства в БЛС Wi-Fi представляют большой интерес для исследований [0, 0]. Это обусловлено большим количеством уже развернутых БЛС Wi-Fi и возможностью использования существующей инфраструктуры для внедрения методов позиционирования. Стандарт Wi-Fi IEEE 802.11az [0] повсеместно обозначается как следующее поколение средств определения местоположения NGP (Next Generation Positioning), обеспечивающее характеристики физического уровня, которые позволяют позиционировать STA с помощью классических методов [0, 0]. Классические методы позиционирования зависят от условий прямой видимости LOS (Line of Sight) для успешного получения первичных измерений, таких как угол AoA (Angle of

Arrival) или время прихода ToA (Time of Arrival) сигнала. Используя ToA, можно оценить расстояние между пользовательским устройством и отдельной точкой доступа; линиями потенциального местоположения на плоскости являются окружности. Для ОК в 2D необходимо выполнить минимум три измерения ToA. Для вторичной обработки ToA возможно использовать один из методов трилатерации [0, 0, 0].

Далее описаны основные процедуры, с помощью которых в имитационной модели (ИМ) реализуется обмен пакетами и измерение времени распространения ToA между STA и AP на их основе.

На первом этапе происходит генерация специального пакета NDP (Null Data Packet). NDP – это специальный тип пакета, используемый в стандартах Wi-Fi, таких как 802.11ax (Wi-Fi 6) [0] и 802.11az [3], для различных целей, включая измерение канала и позиционирование. Далее задержка при передаче пакета NDP в имитационной модели определяется в соответствии со случайно сгенерированным расстоянием между STA и AP согласно сценарию территориального распределения. После территориального распределения сигнал передается по каналу TGax [0]. TGax – это модель канала, используемая для воспроизведения условий PPB (распространения радиоволн) устройств в стандарте IEEE 802.11ax. На рисунке 1 приведена схема, отображающая основные процедуры и последовательность работы ИМ.

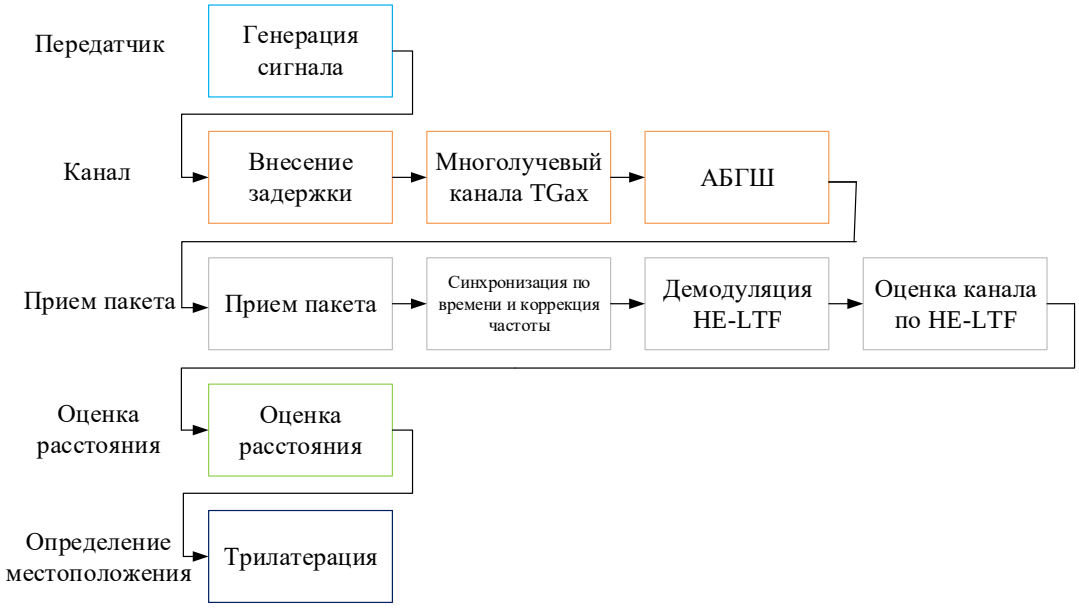


Рис. 1. Процедуры, выполняемые в ИМ

Модель канала учитывает различные аспекты многолучевого распространения, ширину канала, модуляцию и кодирование, режимы MIMO и

beamforming [0]. Данные модели позволяют математически описать реальные условия прохождения сигнала. Затем, к передаваемому сигналу добавляется аддитивный белый гауссовский шум АБГШ/AWGN (Additive White Gaussian Noise). Стоит отметить, что в исследуемой модели по заданному числу итераций используется одно и то же значение отношения сигнал/шум SNR (Signal-to-Noise Ratio) для всех каналов связи между STA и AP. Следующим этапом выполняется временная синхронизация и коррекция частоты полученного сигнала. Далее происходит обработка специального поля HE-LTF (High Efficiency Long Training Field) в передаваемом пакете данных. HE-LTF позволяет приемнику компенсировать искажения, внесенные каналом, и точно демодулировать данные, обеспечивая высокую производительность и надежность передачи данных в условиях многолучевого распространения и других характеристик беспроводного канала. После этого с помощью алгоритма MUSIC (Multiple Signal Classification) производится оценка расстояния. Заключительным этапом является объединение значений рассчитанного расстояния от других пар STA и AP и дальнейшая трилатерация положения STA.

Исходными данными для ИМ модели служат параметры территориального распределения, условия РРВ.

Параметры территориального распределения включают в себя: количество STA и AP в сети; начальные координаты STA (предполагается, что STA всегда находятся в начале координат); значение угла между STA и AP; расстояние между STA и AP [0]. В таблице 1 показаны значения параметров территориального распределения для процедуры проведения первичных дальномерных измерений. На рисунке 2 показан сценарий территориального распределения при исходных данных, указанных в таблице 1.

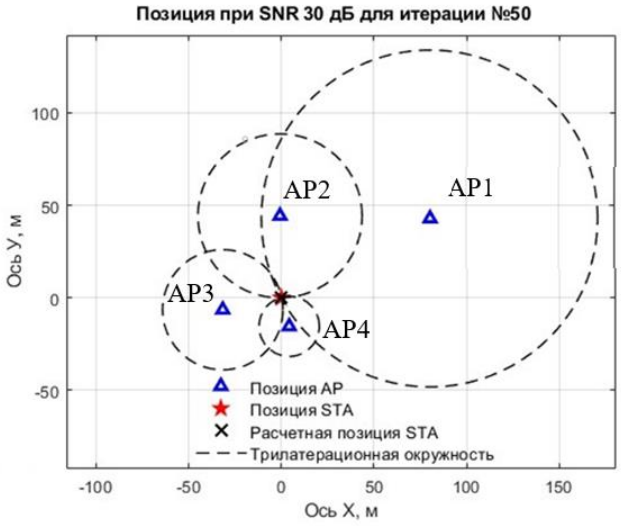


Рис. 2. Сценарий территориального распределения STA и AP

ТАБЛИЦА 1. Параметры территориального распределения

Параметр	Значение
Количество STA	1
Количество AP	4
Координаты STA в сетке [x,y], м	[0,0]
Угол между STA и AP1, AP2, AP3, AP4 рад	0,65; 1,75; 3.39; 4,94
Расстояние между STA и AP1, AP2, AP3, AP4, м	81, 73, 22, 12

Условия PPB определяются каналом TGax. В ИМ канал TGax создается с помощью системного объекта wlanTGaxChannel [9]. Характеристики канала включают в себя: частоту дискретизации входного сигнала; ширину полосы пропускания; несущую частоту; направление передачи сигнала, количество передающих и принимающих антенн. В таблице 2 приведены значения для указанных параметров, используемых в ИМ.

ТАБЛИЦА 2. Параметры канала TGax

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Частота дискретизации, МГц	40	Расстояние до точки прерывания, м	5
Ширина полосы пропускания, МГц	40	СКО задержки распространения, нс	15
Несущая частота, ГГц	5	Максимальная задержка, нс	80
Направление передачи	Uplink	К-фактор Райса, дБ	0
Количество передающих антенн	2	Количество кластеров	2
Количество приемных антенн	2	Модель распространения	Indoor

На рисунке 3 представлена расчетная позиция STA для указанных выше параметров территориального распределения и условий PPB.

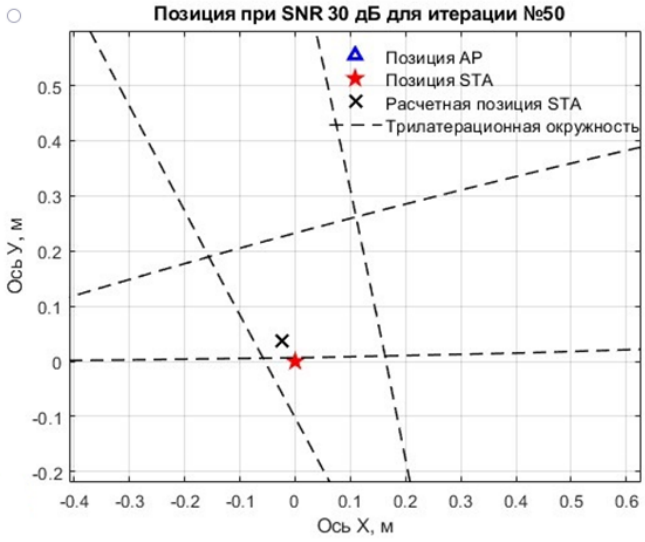


Рис. 3. Отображение рассчитанного и истинного местоположения STA

На рисунке 4-А и 4-Б представлена интегральная функция распределения (ИФР) для ошибки дальномерных измерений и ошибки позиционирования. Видно, что ИФР увеличивается с ростом величины SNR и достигает максимальных значений для интервала от 0,25 метров до 0,35 метров, что говорит о возможности достижения дециметровой точности при определении местоположения STA.

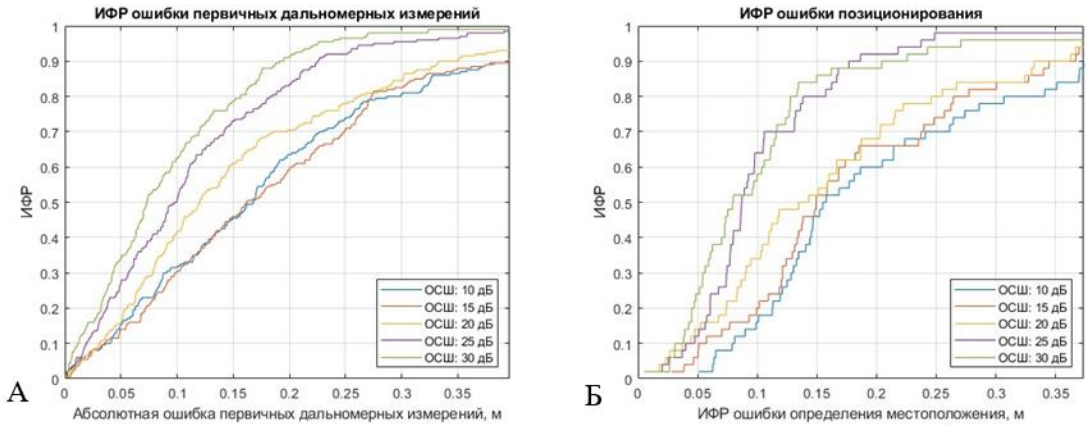


Рис. 4. А - ИФР ошибки первичных дальномерных измерений, Б - ИФР ошибки оценки местоположения на плоскости

Результаты подтверждают необходимость дальнейших исследований в области позиционирования в БЛС Wi-Fi.

Список используемых источников

1. Xinrong Li., K. Pahlavan. Super-resolution TOA estimation with diversity for indoor geolocation // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2004. Vol. 3. №. 1. PP. 224-234.

2. Figueiredo S., Ville K., Elena S. Wireless Positioning in IoT: A Look at Current and Future Trends // Sensors. 2018. Vol 18. № 8. P. 2470-2475.

3. 802.11az Positioning Using Super-Resolution Time of Arrival Estimation. MathWorks. URL: https://www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11az indoor positioning using super resolution time of arrival estimation.html (дата обращения 02.06.2025).

4. Ketshabetswe L.K. Communication protocols for wireless sensor networks: A survey and comparison // Heliyon. 2019 Elsevier Ltd, Vol. 5, № 5.

5. Boukerche A.F.M. Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks // Wiley series on parallel and distributed computing. 2008.

6. Hamza A.H. et al. Developing three-dimensional localization system using deep learning and pre-trained architectures for IEEE 802.11 Wi-Fi // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology Center, 2022. Vol. 4. № 9–118. P. 41–47.

7. 802.11ax-2021. Telecommunications and Information Exchange between Systems Local and Metropolitan Area Networks--Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) S. IEEE, 2021.

8. Фокин Г. А. Достижение дециметровой точности позиционирования в гетерогенных сетях NR-Wi-Fi // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: Сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической конференции. 2023. Т. 4. С. 542-547.

9. wlanTGaxChannel. Filter signal through 802.11ax multipath fading channel. MathWorks. URL: https://www.mathworks.com/ help/wlan/ref/wlantgaxchannel system object.html (дата обращения 22.01.2025).

ANALYSIS OF THE RANGING METHOD FOR POSITIONING IN 802.11az NETWORKS

Fokin G., Bagaev E.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Positioning in Wireless Local Area Networks involves determining the location of a user device or a client station using the infrastructure of access points with known coordinates. Traditionally, in WLANs of the IEEE 802.11 working group standards, the fingerprinting method was used, which relied on preliminary collection of Received Signal Strength Indicator measurements, recording them in a database with coordinate binding, and then matching current measurements with those previously recorded in the DB. This method was characterized by high labor intensity in preparing the DB with radio maps of RSSI measurements received from APs and relatively low accuracy in estimating the coordinates of STA. With the advent of the 802.11az standard, which is specialized for high-precision positioning using the ranging method, achieving decimeter accuracy in estimating the coordinates of STA indoors becomes a practically achievable task. This paper analyzes the operation of the ranging method for positioning in 802.11az networks.

Key words: *802.11az standard, positioning, Wi-Fi wireless local network*

УДК 621.396.677
ГРНТИ 47.45.29

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЗАДАЧ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Г. А. Фокин, Д. С. Рябиков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Одной из наиболее распространенных систем, используемых для навигации и распределения времени, является глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС), которая необходима для критически важных объектов инфраструктуры, таких как сети мобильной связи, а также для новых технологий, таких как автоматизированное вождение. Хотя ГНСС может обеспечить точность на уровне сантиметров, приемники ГНСС подвержены ошибкам из-за многолучевого распространения, что характерно для городских районов. Кроме того, уязвимые места ГНСС в сочетании с отсутствием резервной системы, представляют серьезную опасность для технологий, зависящих от ГНСС. Один из вариантов решения данной проблемы заключается в использовании инфраструктуры базовых станций сотовых сетей связи, соединенных и синхронизированных по времени на субнаносекундном уровне через волоконно-оптическую сеть Ethernet. Столь высокая точность синхронизации необходима для позиционирования пользовательских устройств посредством измерения разности времен прихода сигналов. Настоящая работа посвящена анализу состояния проблемы субнаносекундной синхронизации базовых станций сотовых сетей связи для сетевого позиционирования.

ГНСС, синхронизация, White Rabbit

Ограничения глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в городских районах трудно преодолимы. Ограниченная полоса радиочастот (около 20 МГц [0]) систем ГНСС приводит к метровым ошибкам позиционирования из-за многолучевого распространения, то есть сигналов, отраженных от зданий и объектов, которые мешают прямому сигналу прямой видимости LoS (Line-of-Sight) [0]. Эти ограничения влияют не только на точность позиционирования [0], но и на использование ГНСС-приемников в качестве эталонов времени для синхронизации местных часов с универсальным координированным временем UTC (Coordinated Universal Time) с остаточными ошибками времени в лучшем случае в несколько наносекунд [0]. Однако такие развивающиеся технологии, такие как квантовая связь, требуют субнаносекундной синхронизации времени узлов (квантовой) сети. Более того, даже если ошибки ГНСС удастся уменьшить на необходимые

один-два порядка, существует еще одно узкое место в виде незашифрованных и относительно слабых радиосигналов ГНСС, которые могут быть заглушены или даже подделаны для передачи ложной информации о времени и местоположении. Также субнаносекундная синхронизация опорных базовых станций критически важна для решения задач сетевого позиционирования посредством измерения разности времен прихода сигналов; ошибка синхронизации 1 нс приводит к смещению оценки координат до 30 см.

Альтернативная ГНСС синхронизация может осуществляться на основе принимаемых беспроводных сигналов или на основе распределенного с помощью кабелей по времени и частоте сигнала. Например, в системе Locata [0, 0] для беспроводной синхронизации используется так называемая технология «Timeloc». В работе [0], чтобы избежать влияния многолучевости на синхронизацию тактового сигнала, авторы предложили распределять опорные сигналы времени 1 PPS (Pulse Per Second) и частоты 10 МГц для синхронизации по коаксиальным кабелям между передатчиками в наземной системе, подобной GNSS. Из-за этих кабельных соединений такая система может быть реализована только на относительно ограниченной территории.

Вследствие чувствительности к многолучевости для позиционирования была предложена сверхширокополосная UWB (Ultra Wideband) система [0], которая использует гораздо большую полосу пропускания сигнала и, таким образом, обеспечивает более высокое временное разрешение. Тем не менее, все передатчики должны быть синхронизированы, например, на основе оценки времени в обе стороны [0].

В работе [0] была предложена гибридная оптико-беспроводная наземная система позиционирования, которая может поддерживать большую полосу пропускания сигнала (например, 160-320 МГц). Радиопередатчики синхронизируются с общими опорными сигналами (т.е. 10 МГц и 1 PPS), генерируемыми центральными атомными часами и распространяемыми на каждый радиопередатчик через оптическую телекоммуникационную инфраструктуру с помощью протокола точного времени White Rabbit (WR-PTP) [0, 0]. Использование оптически распределенных опорных сигналов времени и частоты через существующую инфраструктуру оптической связи обеспечивает гибкость для расширения системы на большой территории, а синхронизация, в случае беспроводного распределения опорных сигналов между передатчиками, не подвержена влиянию многолучевости, которая часто присутствует в городской местности.

В работах [0, 0] также описываются наземные сетевые системы позиционирования TNPS (Terrestrial Networked Positioning System), основанные на гибридной оптико-беспроводной телекоммуникационной инфраструктуре, которая обеспечивает позиционирование в городских условиях с дециметровой точностью, а также субнаносекундную синхронизацию времени. Система [0] работает независимо от GNSS, а многие риски, связанные с GNSS, устраняются за счет использования волоконно-оптической инфраструктуры в сочетании с сетью наземных передатчиков, которые обеспечивают уровень мощности принимаемого сигнала на порядки превышающий уровень мощности принимаемого GNSS-сигнала. Описываемый испытательный стенд был создан на открытом городском полигоне TGV (The Green Village), расположенном в кампусе Делфтского технологического университета. Шесть радиопередатчиков (Tx-1 - Tx-6), рассредоточенных на площади 660 м2, играют роль опорных станций, аналогичных спутникам в созвездии GNSS. Как и в GNSS, ключевой концепцией, лежащей в основе TNPS, является точное измерение мобильным приемником времени прибытия радиосигналов, передаваемых сетью наземных передатчиков. Измерения времени прихода преобразуются в дальности и затем используются для определения местоположения приемника относительно передатчиков. Можно заметить, что сразу в нескольких работах [0, 0, 0] упоминается или даже используется технология субнаносекуной синхронизации WR для распространения точных опорных сигналов синхронизации на больших территориях. White Rabbit обеспечивает субнаносекундную точность синхронизации для больших распределенных систем [0]. Она также обеспечивает детерминированную и надежную доставку данных. Позволяет осуществлять точную временную маркировку измеренных данных и запускать сбор данных в крупных и не только установках, одновременно используя одну и ту же сеть для передачи данных.

Сеть WR имеет древовидную топологию, пример которой представлен на рис. 1; топология содержит в себе два типа устройств: коммутаторы и оконечные узлы; каждое из устройств имеет два типа портов: порты восходящей линии связи, которые получают информацию о синхронизации от удаленного узла, и порты нисходящей линии связи, передающие синхронизацию на узлы, находящиеся ниже в сетевой иерархии.

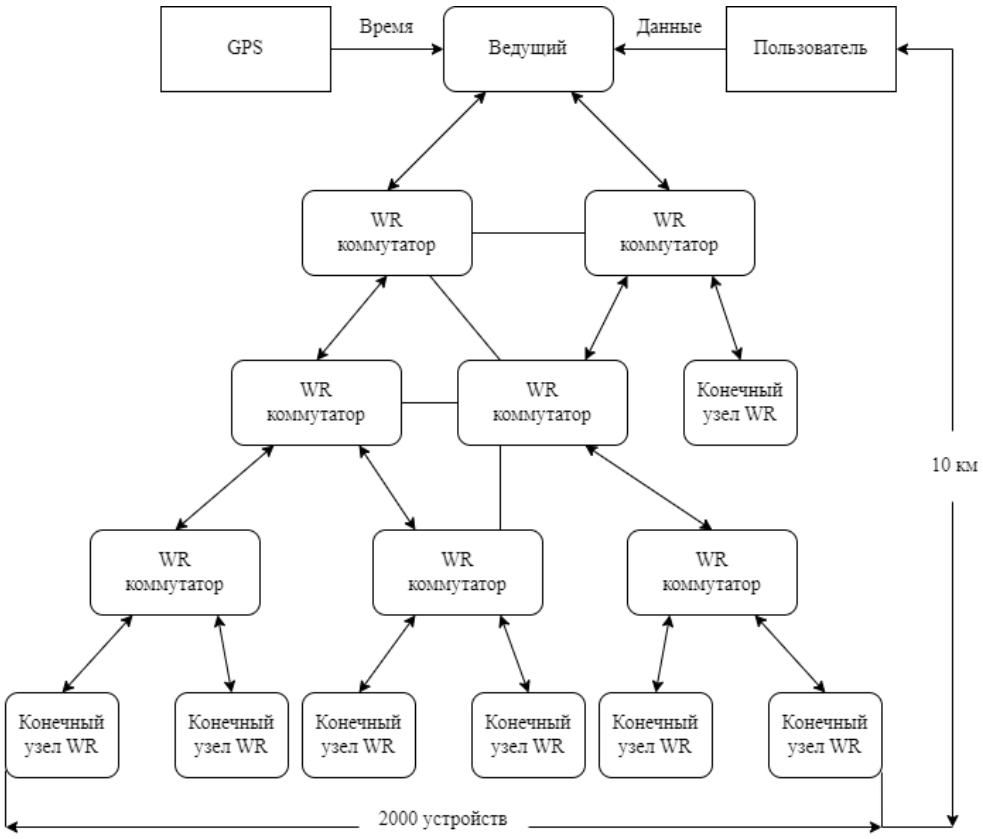


Рис. 1. Топология сети White Rabbit

Технология White Rabbit основана на трех элементах: а) протокол точного времени PTP (Precision Time Protocol) [0]; б) синхронный Ethernet SyncE (Synchronous Ethernet) [0]; в) цифровая реализация DMTD (Digital Dual Mixer Time Difference) [0]. Основными особенностями сети WR являются: подключение тысяч узлов, типичные расстояния между узлами 10 км, надежная передача данных на основе Ethernet с гигабитной скоростью, полностью открытое аппаратное, микропрограммное и программное обеспечение, коммерческое оборудование, выпускаемое такими компаниями как: Seven Solution, SyncTechnology, Creotech и INCAA Computers.

Система WR [0] является важной вехой на пути к надежному сетевому позиционированию на дециметровом уровне и беспроводному субнаносекундному распределению времени в городских условиях, основанному на сигналах, которые значительно сложнее подделать, чем радиосигналы GNSS (поскольку относительно высокие уровни сигнала и предполагаемая плотность базовых станций ограничат глушение и, в частности, поддельные атаки небольшой географической областью). Однако потенциал любой технологии надежного наземного позиционирования, навигации и синхронизации в качестве резервной системы GNSS или системы позиционирования

следующего поколения также зависит от усилий, необходимых для ее развертывания. Можно выделить несколько важнейших особенностей, которые повышают их совместимость с существующими телекоммуникационными сетями и тем самым снижают барьер для внедрения.

Высокий уровень технологической готовности WR: протокол WR стандартизирован, оборудование WR коммерчески доступно уже более десяти лет, а благодаря относительно небольшой пропускной способности WR может работать (без потери производительности) на длинах волн в волоконно-оптическом спектре, где наблюдается относительно большое затухание. Такие длины волн часто недоступны, поскольку они менее пригодны для систем передачи данных с высокой пропускной способностью. Используя мультиплексирование с разделением по длине волны WDM (Wavelength Division Multiplexing), WR, работающие в таких неиспользуемых диапазонах длин волн, уже успешно интегрированы в волоконно-оптические сети большой протяженности, в которых одновременно передается живой трафик данных высокой емкости, при этом не наблюдается взаимодействия между сигналами WR и другим трафиком данных, и достигается субнаносекундная синхронизация. Во-вторых, рассмотренные системы TNPS могут быть реализованы таким образом, чтобы обойти дефицит радиочастот. Современные наземные системы PNT в основном используют нелицензируемые частотные диапазоны (например, промышленный, научный и медицинский диапазон 2,4 ГГц, в котором работает Wi-Fi), в то время как другие системы работают в собственном спектре (например, NextNav Metropolitian Beacon System, которая работает в 8-МГц диапазоне 923,75 МГц).

В настоящей работе были рассмотрены особенности текущих систем синхронизации на основе технологии ГНСС и альтернативных систем для передачи точного времени, а также их совместимость с современными сетями связи. Технология White Rabbit показала себя как перспективное решение проблем синхронизации, которая может быть интегрирована в современные устройства и сети связи за счет таких технологий как PTP и SyncE, которые также используются в мобильных сетях.

Список использованных источников

1. Enge P. K. The Global Positioning System: signals, measurements, and performance // International Journal of Wireless Information Networks. 1994. V. 1. P. 83–105.

2. Фокин Г. А. Комплексная имитационная модель для позиционирования источников радиоизлучения в условиях отсутствия прямой видимости // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 1. С. 85-101.

3. Фокин Г. А. Сетевое позиционирование 5G и вероятностные модели оценки его точности // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Т. 14. № 12. С. 4–17.

4. Allan D. W., Weiss M. A. Accurate time and frequency transfer during common-view of a GPS satellite // 34th Annual Symposium on Frequency Control. 1980. P. 334–346.

5. Barnes J., Rizos C., Wang J., Small D., Voigt G., Gambale N. Locata: A new positioning technology for high precision indoor and outdoor positioning // Symposium on GPS/GNSS. 2003. P. 9–18.

6. Rizos C., Yang L. Background and recent advances in the locata terrestrial positioning and timing technology // Sensors. 2019. V. 19. № 8. P. 1821.

7. Guo X., Zhou Y., Wang J., Liu K., Liu C. Precise point positioning for ground-based navigation systems without accurate time synchronization // GPS Solutions. 2018. V. 22. № 2. P. 34.

8. Alarifi A., Al-Salman A., Alsaleh M., Alnafessah A., Al-Hadhrami S., Al-Ammar M. A., Al-Khalifa H. S. Ultrawideband indoor positioning technologies: Analysis and recent advances // Sensors. 2016. V. 16. № 5. P. 707.

9. Gezici S., Tian Z., Giannakis G. B., Kobayashi H., Molisch A. F., Poor H. V., Sahinoglu Z. Localization via ultrawideband radios: a look at positioning aspects for future sensor networks // IEEE Signal Processing Magazine. 2005. V. 22. № 4. P. 70–84.

10. Diouf C., Dun H., Kazaz T., Janssen G., Tiberius C. Demonstration of a decimeter-level accurate hybrid optical wireless terrestrial positioning system // 33rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation. 2020. P. 2220–2228.

11. Dierikx E. F., Wallin A. E., Fordell T., Myyry J., Koponen P., Merimaa M., Pinkert T. J., J. C. Koelem, Peek H. Z., Smets R. White rabbit precision time protocol on long-distance fiber links // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. 2016. V. 63. № 7. P. 945–952.

12. Moreira P., Serrano J., Wlostowski T., Loschmidt P., Gaderer G. White rabbit: Sub-nanosecond timing distribution over ethernet // International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication. 2009. P. 1–5.

13. Koelemeij J., Dun H., Diouf C., Dierikx E., Janssen G., Tiberius C. A hybrid optical–wireless network for decimetre-level terrestrial positioning // Nature. 2022. 611. P. 473–478.

14. Dun H., Tiberius C., Diouf C., Janssen G. Terrestrial precise positioning system using carrier phase from burst signals and optically distributed time and frequency reference // International Technical Meeting of The Institute of Navigation. 2021. P. 510–524.

15. Diouf C., Janssen G., Dun H., Kazaz T., Tiberius C. USRP-Based Testbed for Wideband Ranging and Positioning Signal Acquisition // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2021. V. 70.

16. Serrano J., Alvarez P., Cattin M., Cota E. G., Lewis J. H., Moreira P., Wlostowski T. The White Rabbit Project // International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems. 2009.

17. IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems // IEEE Standard 1588. 2020. P. 1–499.

18. Serrano J., Alvarez P., Moreira P. Wlostowski T., Darwezeh I. Digital Dual Mixer Time Difference for Sub-Nanosecond Time Synchronization in Ethernet // IEEE International Frequency Control Symposium. 2010.

19. Lipiński M., Włostowski T., Serrano J., Alvarez P., White rabbit: a PTP application for robust sub-nanosecond synchronization // IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication. 2011. P. 25–30.

ANALYSIS OF THE PROBLEM OF DEVICE SYNCHRONIZATION FOR POSITIONING TASKS IN ADVANCED COMMUNICATION NETWORKS

Fokin G., Ryabikov D.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

One of the most common systems used for navigation and time allocation is the Global Navigation Satellite System (GNSS), which is essential for critical infrastructure such as cell phone networks, as well as for new technologies such as automated driving. Although GNSS can provide centimeter-level accuracy, GNSS receivers are prone to errors due to multipath propagation, which is common in urban areas. In addition, GNSS vulnerabilities, coupled with the lack of a backup system, pose a serious risk to GNSS-dependent technologies. One solution to this problem is to use cellular network base station infrastructure connected and time-synchronized at the sub-nanosecond level via an Ethernet fiber optic network. Such high synchronization accuracy is necessary for positioning user devices by measuring the difference of signal arrival times. This paper is devoted to the analysis of the state of the problem of subnanosecond synchronization of base stations of cellular communication networks for network positioning.

Key words: *GNSS, synchronization, White Rabbit*

УДК 681.7
ГРНТИ 49.44.29

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДВУХКАСКАДНЫХ EDFA УСИЛИТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВО СВЯЗИ В ДЛИННОПРОЛЕТНЫХ ВОСП

И. И. Шестаков

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» в г. Екатеринбурге

Известно, что длина регенерационного участка волоконно-оптической системы связи ограничена затуханием и дисперсией волоконно-оптической линией связи. Для компенсации затухания применяют эрбиевый волоконно-оптический усилитель, для компенсации дисперсии применяют компенсаторы дисперсии. Установка усилителей является неизбежной, когда установка компенсаторов дисперсии зависит от скорости передачи данных в оптическом канале связи. Оптический усилитель, в отличие от компенсатора дисперсии, является активным устройством, которое не только усиливает мощность оптического сигнала, но и вносит собственный шум в полезный сигнал, ухудшая соотношение сигнал/шум, что сказывается на росте коэффициента ошибок на приеме. В случае применения на линии связи компенсатора дисперсии, применяют двухкаскадный усилитель, вносимый уровень шума которого, априори выше. Следовательно, это скажется на уменьшении отношения сигнал/шум и на росте коэффициента ошибок. В работе рассматривается оценка степени влияния двухкаскадного усилителя на качество связи в сравнении с однокаскадным усилителем.

двухкаскадный и однокаскадный EDFA усилитель, шум-фактор, графики зависимости

Качество связи в волоконно-оптических системах связи зависит от соотношения сигнал/шум, действующего на входе фотоприемника. Одним источником шума в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) является оптический усилитель. В большинстве случаев применяют эрбиевые волоконно-оптические усилители EDFA, которые подразделяются на однокаскадные и двухкаскадные [1]. Применение двухкаскадных усилителей связано с установкой на линии связи компенсаторов дисперсии. Очевидно, что применение двухкаскадных усилители влечет у росту аккумулируемых шумов, к ухудшению соотношения сигнал/шум, а как следствие этого, к ухудшению качества связи.

Оценить степень влияния двухкаскадного EDFA усилителя на величину соотношения сигнал/шум, в сравнении с однокаскадным EDFA усилителем, можно путем сравнения величины шум-фактора (*NF*) однокаскадного и двухкаскадного усилителей. Шум-фактор – это величина сравнения

отношения сигнал/шум на входе и выходе усилителя, рассчитываемая как [2, 3]:

$$NF = 10lg\left[\left(\frac{P_c}{P_ш}\right)_{вх} / \left(\frac{P_c}{P_ш}\right)_{вых}\right], \quad (1)$$

где $(P_с/P_ш)_{вх}$ – отношение оптической мощности сигнала к оптической мощности шума на входе усилителя; $(P_с/P_ш)_{вых}$ – отношение оптической мощности сигнала к оптической мощности шума на выходе усилителя.

Важно отметить, что мощность шума на входе усилителя является квантово-ограниченной минимальной величиной и определяется нулевыми флуктуациями вакуума $P'_{ш_вх} = h \times \nu \times \Delta\nu$. Мощность шума на выходе состоит из суммы мощности усиленного спонтанного излучения и мощности шума нулевых флуктуаций вакуума, которые проходят через усилитель без изменения. Если учесть, что $P_{с_вых} / P_{с_вх} = G$, то шум-фактор можно выразить через коэффициент усиления и мощность усиленного спонтанного излучения [2, 3]:

$$NF = \frac{1}{G}\left(1 + \frac{P_ш}{h \times \nu}\right) = \frac{1}{G}(1 + \frac{n_{sp}}{\eta} \times (G - 1)). \quad (2)$$

В идеальном случае, при $G >> 1$ и $n_{sp}/\eta = 1$ [19], параметр NF будет равен один децибелл. При $n_{sp}/\eta = 1$, усилитель вносит в полезный сигнала только шум нулевых флуктуаций вакуума, мощность которого во много раз меньше мощности полезного сигнала, не влияя на ухудшение отношения сигнал/шум. В реальных же усилителях, соотношение $n_{sp}/\eta > 2$. В этом случае сильнее проявляется спонтанный шум, влияние которого следует учитывать при проектировании волоконно-оптических систем связи.

Анализируя выражение (2), можно полагать, что шум-фактор также имеет свойства насыщения, как и коэффициент усиления, в случае если $NF \approx n_{sp}/\eta$ [2]. Это свойство положительно сказывается на шум-факторе. Поясняется это тем, что при увеличении длины усилительного участка увеличивается коэффициент усиления, при этом роста шум-фактора не наблюдается. То есть, для увеличения длины секции целесообразно устанавливать усилители с максимальным коэффициентом усиления, что приведет к незначительному проигрышу отношения сигнал/шум по сравнению с меньшим коэффициентом усиления.

В случае применения компенсаторов дисперсии, полагая что они устанавливаются в усилительных пунктах [4], количество усилителей удвоится, поскольку будут применены двухкаскадные усилители. Тогда, для двухкаскадного EDFA усилителя, шум-фактор (NF') рассчитывается по формуле (3):

$$NF' = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_1}, \quad (3)$$

где NF_1 и NF_2 – шум-фактор первого и второго каскада EDFA усилителя, G_1 – коэффициент усиления первого каскада.

В двухкаскадном усилителе, первый каскад компенсирует оптические потери ВОЛС, второй каскад – компенсирует потерь вносимые компенсатором дисперсии. Сравнивая между собой потери в ВОЛС и в компенсаторе дисперсии, которые составляют 2 - 8 дБ [5, 6], можно утверждать, что $NF_1 < NF_2$. Поскольку коэффициент усиления G_1 эквивалентен совокупному затуханию ВОЛС, например, для линии связи протяженностью 80 - 100 км со средним километрическим затуханием 0,3 дБ/км, G_1 = 250 - 1000 (24 - 30 дБ), дробь в выражении (3) существенно не влияет на итоговую величину NF'. Можно утверждать, что величина шум-фактора двухкаскадного и однокаскадного усилителя примерно одинакова, но для ВОЛС протяженностью более 60 км, как показано на рис. 1.

На рис. 1. показана зависимость разности значений шум-факторов двухкаскадного и однокаскадного усилителей в дБ ($\Delta = nf' - nf$) от соотношения шум-фактора второго и первого каскада двухкаскадного EDFA усилителя в разах (NF_2 / NF_1). Зависимости построены для ВОЛС протяженностью 40, 60, 80, 100 и 120 км при фиксированном значении шум-фактора однокаскадного усилителя (NF = 4).

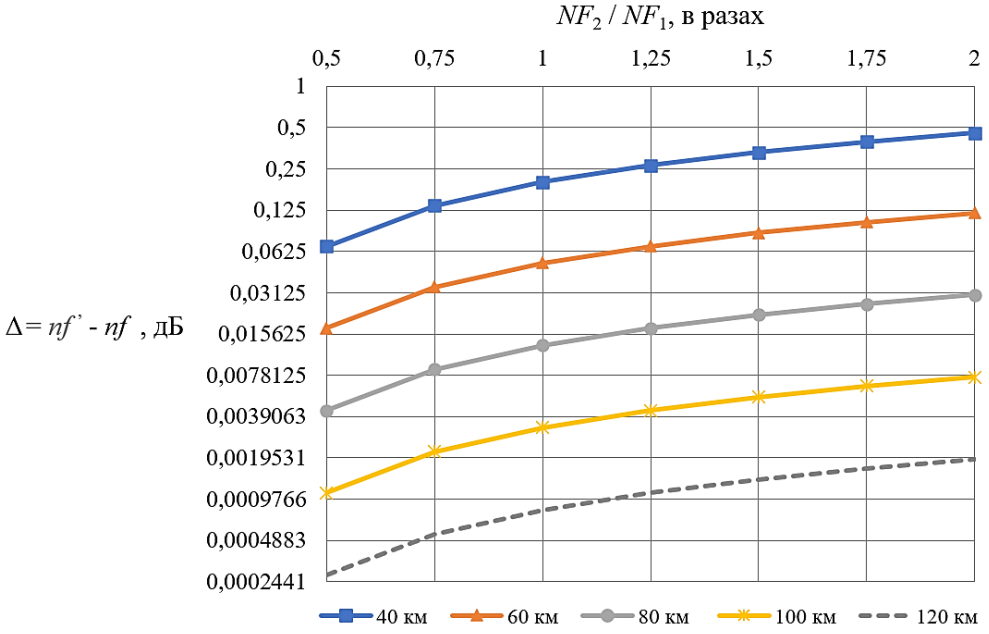


Рис. 1. Графики зависимости разности шум-факторов двухкаскадного и однокаскадного усилителей от соотношения NF_2 / NF_1 и длины ВОЛС

Как видно из графиков, в случае применения двухкаскадного усилителя в линии связи протяженностью более 60 км существенного прироста шум-фактора не наблюдается. В случае интеграции в действующую ВОЛС двухкаскадных усилителей, без увеличения количества линейных усилительных пунктов, отношение сигнал/шум в конце линии связи (на входе фотоприемника) снизится не более чем на 1 дБ.

Список используемых источников

1. Листвин В. Н., Трещиков В.Н. DWDM системы: научное издание. М.: Издательский Дом «Наука», 2013. – 300 с

2. Убайдуллаев Р.Р. Протяженные ВОЛС на основе EDFA // LIGHTWAVE russian edition. 2023. №1. С. 22-28. URL: https://t8.ru/upload/iblock/eb3/3oprfscs870ka4eyqxf23ir0rtmqckzh/3_LW_2003_01_2.pdf (дата обращения 22.01.2025)

3. Татаркина О. А. Волоконно-оптические системы передачи: Конспект лекций / О.А. Татаркина. – Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2008. 160 с.

4. Mirazimova G. X. Tolali optik aloqa liniyalarida dispersiya kompensatorlarini qo'llash samaradorligini takomillashtirish // SAI. 2023. № 3. URL: https://doi.org/10.5281/zenodo.7856943 (дата обращения 23.01.2025)

5. Компенсаторы дисперсии (DCM) // NAG: URL: https://shop.nag.ru/ catalog/07179.uplotnenie-cwdmdwdm/33759. kompensatory-dispersii-dcm (дата обращения 25.01.2025).

6. Компенсаторы дисперсии // Modultech: URL: https://modultech.ru/cat/ kompensatory- dispersii/ (дата обращения 25.01.2025).

EVALUATION OF THE EFFECT OF TWO-STAGE EDFA AMPLIFIERS ON THE QUALITY OF COMMUNICATION IN LONG-RANGE SYSTEMS

Shestakov I.
Ural Technical Institute of Communications and Informatics

It is known that the length of the regeneration section of a fiber-optic communication system is limited by the attenuation and dispersion of the fiber-optic communication line. An erbium fiber-optic amplifier is used to compensate for attenuation, and dispersion compensators are used to compensate for dispersion. The installation of amplifiers is unavoidable when the installation of dispersion compensators depends on the data transfer rate in the optical communication channel. An optical amplifier, unlike a dispersion compensator, is an active device that not only enhances the power of the optical signal, but also introduces its own noise into the useful signal, degrading the signal-to-noise ratio, which affects the increase in the error rate at reception. In the case of using a dispersion compensator on the communication line, a two-stage amplifier is used, the introduced noise level of which is a priori higher. Consequently, this will result in a decrease in the signal-to-noise ratio and an increase in the error rate. The paper considers the assessment of the degree of influence of a two-stage amplifier on the quality of communication in comparison with a single-stage amplifier.

Key words: *two-stage and single-stage EDFA amplifier, noise factor.*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

УДК 681.142
ГРНТИ 27.45.17

АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СЕМЕЙСТВА ПУТЕЙ В ОРИЕНТИРОВАННОМ ГРАФЕ

А. Л. Алимов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассматриваются две задачи для ориентированного графа. Первая задача – построить семейство путей заданной длины между любыми парами вершин графа. Вторая задача – построить семейство простых путей между произвольными вершинами графа. Алгебраический метод заключается в построении матрицы путей, то есть квадратной матрицы, элементы которой есть необходимое множество путей. При этом для матричных элементов определяются две алгебраические операции, "умножение" и "сумма" списка путей. Наличие двух операций позволяет определить операцию умножения матриц. Результирующие матрицы для обеих задач представляют собой некоторые степени исходной матрицы путей, которая строится по матрице смежности графа. Представлены примеры решений обеих задач в системе компьютерной алгебры Wolfram Mathematica.

ориентированный граф, простые пути, алгебраический метод, произведение матриц, Wolfram Mathematica

Пусть G – ориентированный граф. Матрица A – матрица смежности графа G. Элемент этой матрицы $A[i,j] = 1$, если существует направленное ребро, соединяющее вершины $v[i]$ и $v[j]$, остальные элементы равны 0.

Рассматривается задача построения множества простых путей заданной длины между любыми парами вершин ориентированного графа, или более общая задача построения множества всех простых путей между произвольными вершинами графа. Известен результат, что элементы матрицы A^n дают общее количество путей, не только простых, для любой пары вершин.

Работа посвящена некоторому обобщению этой формулы, которая позволяет строить сами пути, а не подсчитывать их количество.

Путь в ориентированном графе *G* есть упорядоченная последовательность вершин *{ v[i1], v[i2],…,v[ik] }*. Путь простой, если все вершины в этом списке различны. Построим матрицу простых путей длины 1, матрицу *AP*. Эта матрица строится по матрице смежности *A*. Если элемент *A[i,j]* = 1, то *элемент AP[i,j] = { {i,j} }*, то есть множеству из одного простого пути *{i, j}*. Если элемент *A[i,j]* = 0, то *AP[i,j] = { }* – пустой список.

В дальнейшем для описания данных, структур и операций используются обозначения и функции системы компьютерной алгебры *Wolfram Mathematica*.

Введем операцию произведения путей *path1* и *path2*. Если последняя вершина в пути *path1* совпадает с первой вершиной в *path2*, то произведение вычисляется по следующей формуле:

$$multPath[path_, path_]:= \\ Block[\{\, sp \,\}, sp = Join[path1, Rest[path2]; If\,[\, simpleQ[sp], sp, \{\}]]$$

функция *simpleQ* проверяет, является ли результирующий путь простым. Во всех остальных ситуациях произведение путей есть пустой путь.

Для определения произведения матриц, элементы которых есть списки путей, необходимо определить две операции. Первая – что есть произведение двух списков путей *list1* и *list2*, и вторая – что есть сумма списков. Первая определяется с помощью дистрибутивного закона, причем для произведения двух путей используется функция multPath. После вычисления произведения удаляются все пустые списки.

$$multSpysPath[list1_, list2_] := Block[\{pathes\}, \\ pathes = Outer[multPath[\#1, \#2]\&, list1, list2, 1]; \\ DeleteCases[Flatten[pathes, 1], \{\}]\ ]$$

Вторая операция определяется, как объединение двух списков:

$$list = Join[\, list1, list2]$$

Итоговая функция – произведение двух матриц matr1 и matr2 простых путей:

$$dotSimpleMatrix[matr1_, matr2_] := \\ Inner[multSpysPath[\#1, \#2]\&, matr1, matr2, Join]$$

Основные операции определены, приступаем к построению матриц простых путей фиксированной длины.

Обозначим $AP[1] = AP$ – матрица простых путей длины 1. Аналогично, $AP[2]$ – матрица простых путей длины 2. Очевидно, что

$$AP[2] = dotSimpleMatrix[\,AP[1], AP[1]]$$

так как любой простой путь длины 2 есть произведение двух простых путей длины 1.

Для матрицы *AP[k]* – матрицы простых путей длины k справедлива рекуррентная формула

$$AP[k] = dotSimpleMatrix[AP[1], AP[k-1]]$$

Для получения множества всех простых путей между любыми парами вершин необходимо объединить с помощью функции Join матрицы *AP[1], AP[2],…,AP[n]*, где *n* – число вершин графа.

Приведем некоторые примеры.

Рассмотрим ориентированный граф *G* с 10 вершинами и 29 ориентированными ребрами (рис. 1) и его матрицу смежности *A*. На рис. 2 по матрице смежности *A* построена матрица простых путей *AP* длины 1. Если две вершины не связаны дугой, то список пустой, { }, если вершины – смежные, то список указывает начальную и конечную вершину дуги.

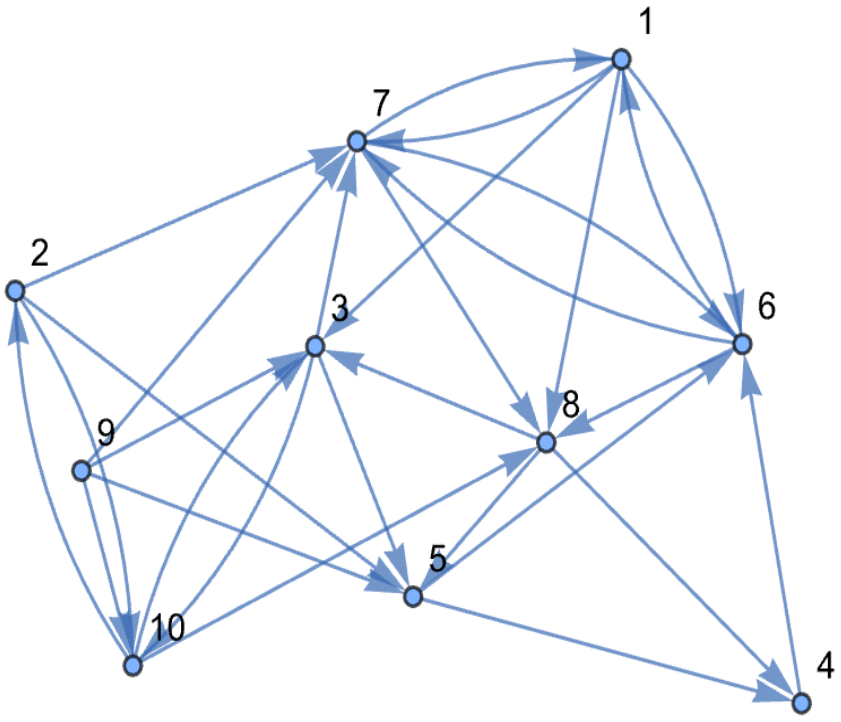


Рис. 1. Ориентированный граф

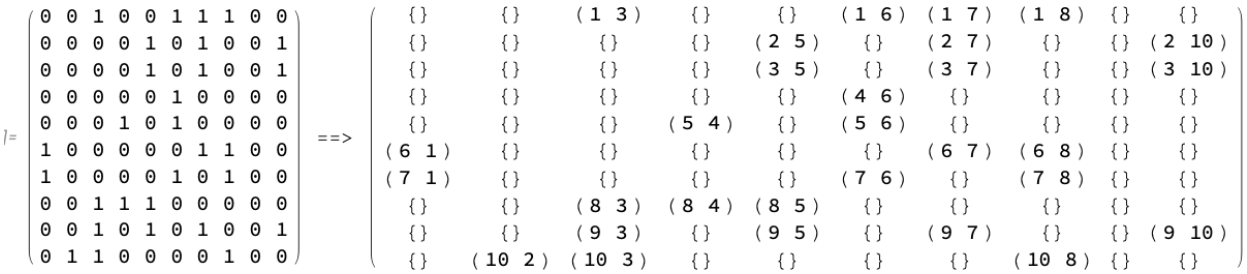


Рис. 2. Преобразование матрицы смежности графа в матрицу простых путей

В соответствии с описанным алгоритмом матрица простых путей *AP[2]* длины 2 представлена на рис. 3.

Обратим внимание, что для некоторых пар вершин, например, 10 и 5, существует три простых пути, 10->2->5, 10->3->5 и 10->8->5. Максимально возможные простые пути длиной в 9 единиц соединяют вершины 2 и 3 (два простых пути) и вершины 2 и 8. Например, простой путь 2->9->3->5->1->10->4->6->7->8. Общее количество простых путей в этом графе равно 1869.

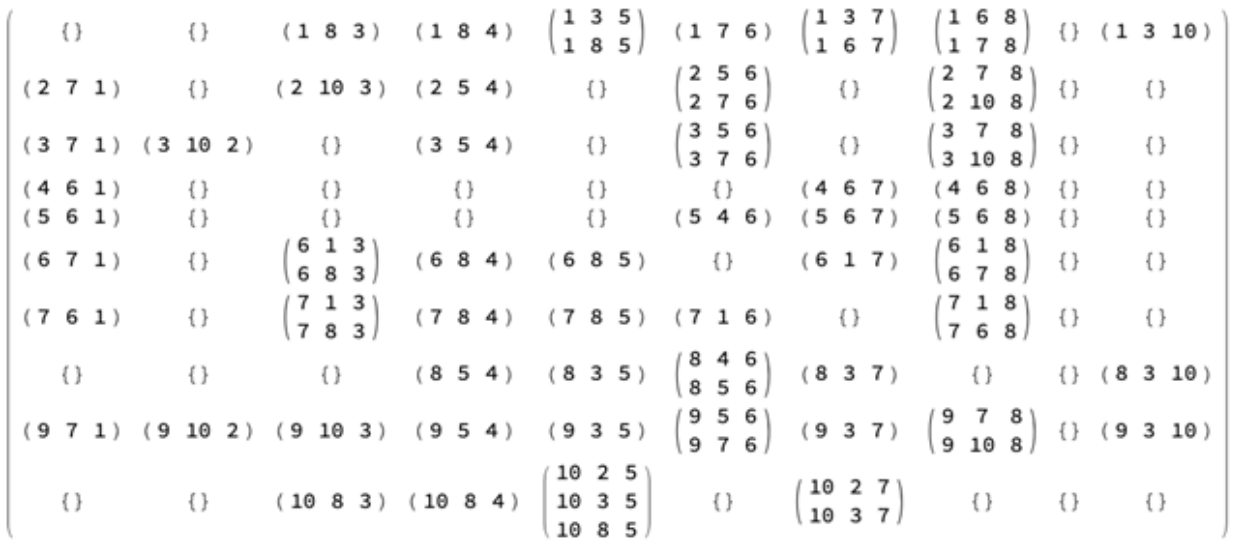


Рис. 3. Матрица простых путей длины 2

Частный случай описанной задачи – построение кратчайших простых путей между любой парой вершин. Решение этой задачи представлено на рис. 4.

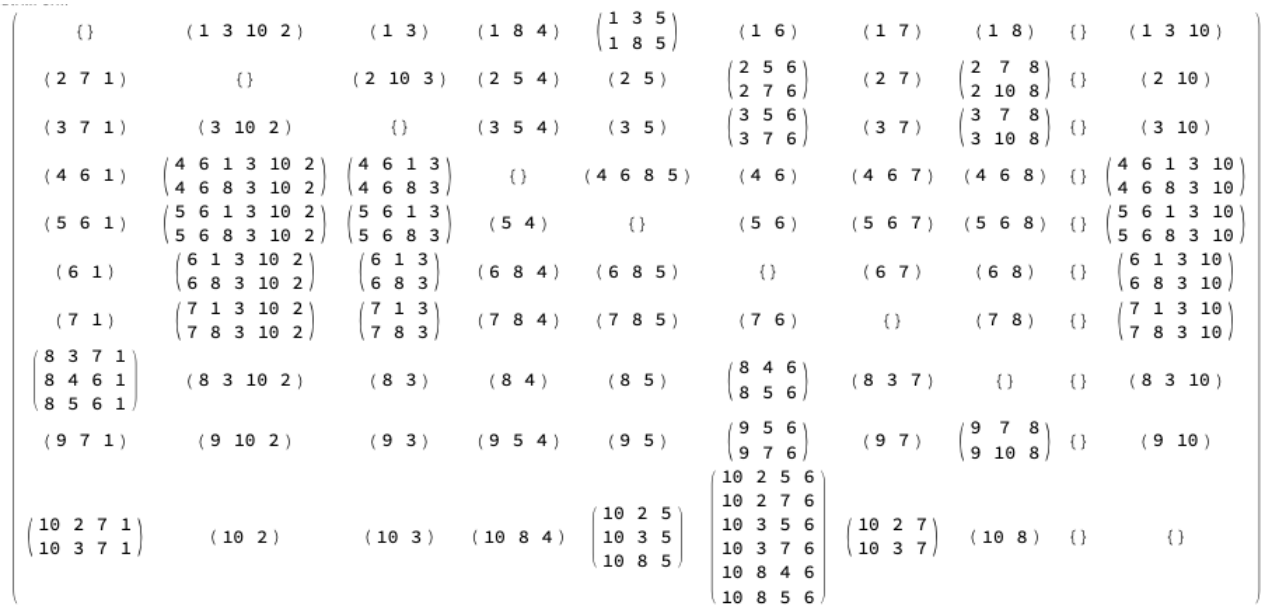


Рис. 4. Матрица простых путей

Максимальная длина простого пути между вершинами 4 и 2, а также между 5 и 2, равна 5. Отметим также отсутствие путей между любой вершиной и вершиной 9.

Список используемых источников

1. Рейнгольд Э., Нивергельт Ю., Део Н. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика: пер. с англ. М. Мир, 1980. 476 с.

2. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход: пер. с англ. М. Мир,1978. 423 с.

AN ALGEBRAIC METHOD FOR CONSTRUCTING A FAMILY OF PATHS IN AN ORIENTED GRAPH

Alimov A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Two problems for a directed graph are considered. The first task is to construct a family of paths of a given length between any pairs of graph vertices. The second task is to construct a family of simple paths between arbitrary graph vertices. The algebraic method consists in constructing a path matrix, that is, a square matrix, the elements of which have the necessary set of paths. In this case, two algebraic operations, "multiplication", will be defined for matrix elements and the "sum" of the list of paths. The presence of two operations allows you to define the matrix product operation. The resulting matrices for the problems under consideration represent some powers of the original path matrix, which is constructed using the adjacency matrix of the graph. Examples of solving problems in the Wolfram Mathematica computer algebra system are presented.

Key words: *directed graph, simple paths, algebraic method, matrix product operation, Wolfram Mathematica*

УДК 681.3
ГРНТИ 20.01.07

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАСТРОЙКИ

И. Б. Бондаренко, Д. А. Пелих

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В рамках данной работы рассмотрены существующие информационные системы и технологии планирования застройки. Выявлены недостатки и ограничения текущих решений. Сформирована архитектура мультиагентной системы планирования застройки. Описаны принципы функционирования входящих в нее групп агентов. Приведена функция удовлетворенности агентов группы предложений от застройщика. Представлены возможность масштабирования системы.

мультиагентные системы, планирование застройки, интеллектуальные информационные системы, управление городом

В современном мире интеллектуальные системы берут на себя все больше обязанностей. Нейросети проводят глубокий анализ предметной области, пишут код, работают с графикой, не уступая по качеству квалифицированным специалистам, автоматизированные системы позволяют создавать полностью автономные производства, и в целом информационные технологии проникли, казалось бы, уже почти во все сферы деятельности человека. Инновации предоставляют возможность значительно ускорить выполнение операционных задач, при этом выигрывая в качестве. Одним из важных направлений информатизации является и городское планирование. Однако существующие системы в данной отрасли имеют ряд недостатков и функциональных ограничений [1]. Данная работа проведена в рамках исследования и разработки интеллектуальных средств управления городом [2] и направлена на проектирование мультиагентной системы планирования застройки.

Описание принципов функционирования мультиагентных систем приведены в [3, 4]. Конечно, цифровизация затронула и поднятую в данной работе тематику, однако большинство информационных продуктов в этой области направлено на управление самим процессом строительства [5], а с точки зрения Т. В. Власовой и И. В. Власовой [6, с. 16] «Использование современных технологий стратегического планирования в практике разработки генеральных планов сегодня в Северной столице ограничено консер-

вативностью градостроительного законодательства». Существующие же системы как правило направлены только на визуализацию застройки города, а не на поддержку в принятии решений (в частности, о выборе застройщика или площадки). Для решения этой задачи проектируемая система планирования застройки направлена на ранжирование возможных вариантов жилого строительства. В перспективе она быть рассмотрена как часть комплекса мультиагентных систем управления городом [3], рис. 1.

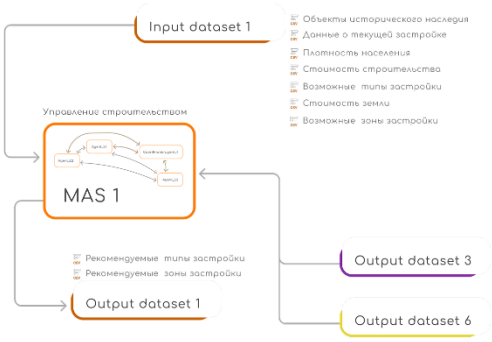


Рис. 1. Система планирования застройки как часть комплекса мультиагентных систем управления городом

Данная система состоит из групп агентов четырех уровней: обработки данных, предложений от застройщика, согласования и координационных, а также пользовательского интерфейса взаимодействия с системой. Архитектура проектируемого решения приведена на рисунке 2.

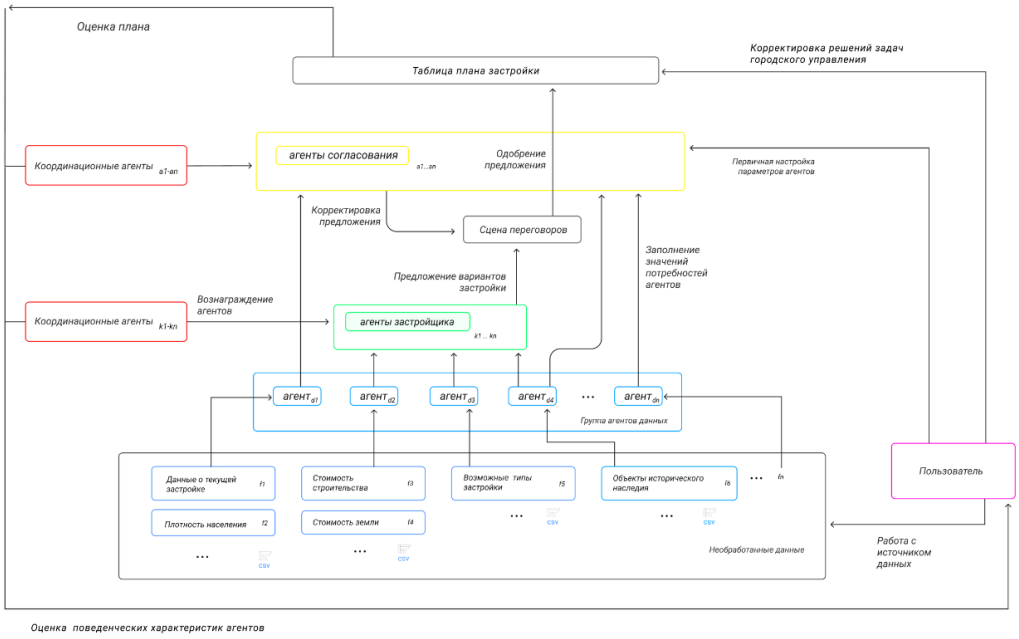


Рис. 2. Архитектура мультиагентной системы планирования застройки

Первая группа агентов направлена на сбор данных о возможных площадках для застройки (рис. 3), а также на группировку и сортировку этих данных (рис. 4).

Группа агентов предложений от застройщика на основании полученной информации формирует список предложений строительных решений на основе показаний доходности типа застройки P^i, коэффициента спроса D^i, стоимости строительства C^i_b, стоимости строительства C^i_b, стоимости C_t и площади S_t территории (отведенной под строительную площадку), где i – этот тип застройки.

Рис. 3. Сбор данных о возможных площадках для застройки

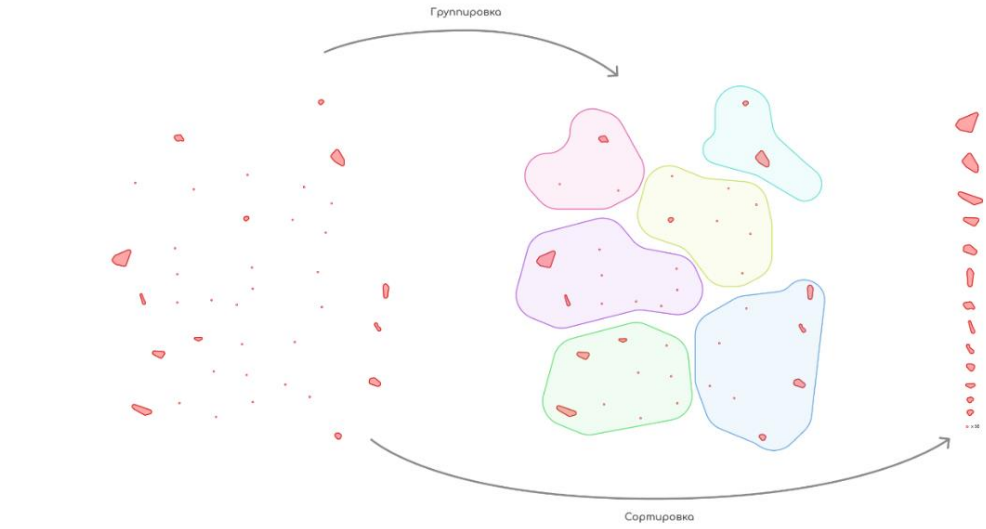


Рис. 4. Группировка и сортировка данных

Функция удовлетворенности агентов данной группы G направлена на максимизацию прибыли с потенциальных вариантов застройки (рис. 5):

$$G = max\left(\sum_{i=1}^{n}(Pi \times Di)\right) - \left(\left(\sum_{i=1}^{n} Cib\right) + Ct \times St\right)$$

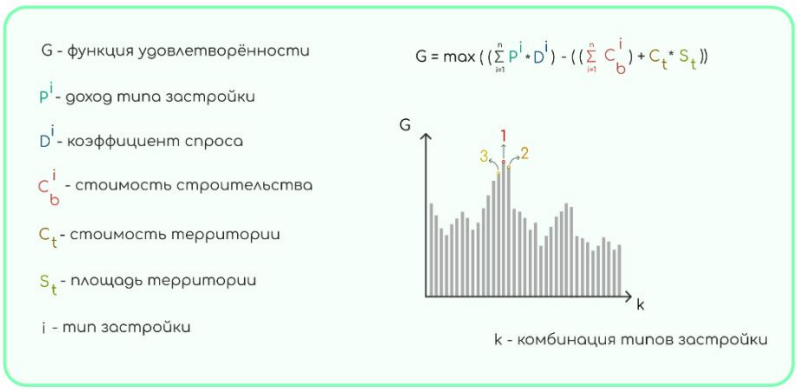


Рис. 5. Сортировка предложений агентом застройщика

Сформированные предложения рассматривают агенты согласования и могут принять или отклонить их. Принятые предложения формируются в таблицу плана застройки, с которой взаимодействует оператор программы. Скорректированный план оценивают координационные агенты и влияют на дальнейшее его составление путем вознаграждения или внесения изменений в весовые функции агентов групп согласования и предложений от застройщика.

В перспективе масштабирования функционала системы в рамках представленной архитектуры можно также учесть ограничения на снос объектов из перечня культурного наследия, этажности, связь с инфраструктурой города, количество рекреационных зон на застраиваемых территориях, особенности используемых коммуникаций и прочие параметры, влияющие на целесообразность застройки путем ввода ограничений в процесс принятия предложений агентами группы согласования. Описанная выше система может помочь органам планирования подобрать оптимальные варианты застройщиков и типов возводимых сооружений.

Список используемых источников

1. Бондаренко И. Б., Пелих Д. А. Проектирование архитектуры мультиагентной системы в решении частных задач городского управления // Научно-технический вестник Поволжья. №2. 2025 г. Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2025. 158 с. ISSN 2079-5920. URL: https://ntvprt.ru/ru/archive-vypuskov (дата обращения 31.03.2025).

2. Пелих, Д. А. Проектирование имитационной модели управления дорожным трафиком // Отходы и ресурсы., 2024. Т. 11. № 4. URL: https://resources.today/PDF/04INOR125.pdf (дата обращения 31.03.2025). DOI: 10.15862/04INOR125.

3. Бондаренко И. Б., Пелих Д. А., Раковский О. В. Профилирование агентов при разработке мультиагентной системы управления городом // Международный научно-исследовательский журнал, 2025. №2 (152). URL: https://research-journal.org/archive/2-152-2025-february/10.60797/IRJ.2025.152.34 (дата обращения 31.03.2025). DOI: 10.60797/IRJ.2025.152.34.

4. Скобелев П. О., Лахин О. И., Майоров И. В. Адаптивное мультиагентное планирование производственных ресурсов на основе онтологии // Информационно-управляющие системы, 2018. № 6. С. 105–117. DOI: 10.31799/1684-8853-2018-6-105-117.

5. 70 сервисов для цифровизации девелопмента. URL: https://vc.ru/services/148089-70-servisov-dlya-cifrovizacii-developmenta (дата обращения 31.03.2025).

6. Власова Т. В., И. В. Власова И. В. Технологии управления городом как сложной системой // Современные проблемы гражданской защиты 4 (49), 2023, ISSN 2658-6223 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-upravleniya-gorodom-kak-slozhnoy-sistemoy/viewer (дата обращения 31.03.2025).

DESIGNING A MULTI-AGENT BUILDING PLANNING SYSTEM

Bondarenko I., Pelikh D.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In this paper, the existing information systems and building planning technologies are considered. The disadvantages and limitations of current solutions have been identified. The architecture of a multi-agent building planning system has been formed. The principles of functioning of the agent groups included in it are described. The function of satisfaction of agents of the group of proposals from the developer is given. The possibility of scaling the system is presented.

Key words: *multi-agent systems, building planning, intelligent information systems, city management*

УДК 004.8
ГРНТИ 50.41.21

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ АССИСТЕНТОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Н. А. Васильев[1], И. А. Владимиров[2], В. В. Подгорецкий[2], Г. С. Шелегов[1]

[1] Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного
[2]Специальный Технологический Центр

В статье рассматривается применение языковых моделей нейронных сетей в высшем образовании для персонализации обучения, автоматизации задач и поддержки студентов и преподавателей. Проведен сравнительный анализ трансформерных архитектур, традиционных алгоритмов и гибридных моделей с учетом точности, адаптивности, вычислительных затрат и этических аспектов. Особое внимание уделено роли виртуальных ассистентов в образовательном процессе и необходимости баланса между технологическими возможностями и целями обучения.

искусственный интеллект, языковые модели, высшее образование, адаптивное обучение, обработка естественного языка, трансформеры, персонализация обучения, виртуальные ассистенты

Современные языковые модели нейронных сетей играют ключевую роль в развитии искусственного интеллекта, особенно в сфере высшего образования. Их применение позволяет повысить эффективность образовательного процесса, автоматизировать рутинные задачи и обеспечить персонализированную поддержку для студентов и преподавателей [1, 2].

Исследования показывают, что современные трансформерные архитектуры, такие как GPT, обладают высокой точностью в обработке естественного языка и способны адаптироваться к индивидуальным потребностям учащихся [1]. Они применяются для генерации учебных материалов, проверки знаний и поддержки студентов в процессе обучения [3]. Однако одной из ключевых проблем их использования остается высокая вычислительная сложность и необходимость в значительных объемах данных для обучения [5].

Сравнительный анализ различных языковых моделей показывает, что традиционные алгоритмы, основанные на правилах и статистике, уступают нейросетевым решениям в точности, но выигрывают в скорости обработки запросов и простоте внедрения [3]. Тем не менее, интеграция искусственного интеллекта в образовательную среду требует учета множества факторов, таких как этические аспекты, достоверность генерируемого контента и необходимость преподавательского контроля [4]. Кроме того, применение искусственного интеллекта в образовательных учреждениях высшего образования позволяет реализовывать адаптивное обучение, подстраиваясь под уровень знаний и потребности каждого студента [2]. Однако остаются вопросы, связанные с алгоритмической предвзятостью и необходимостью критического осмысления выдаваемых ответов [5].

Таким образом, выбор модели для внедрения искусственного интеллекта в высшем образовании должен базироваться на балансе между точностью, доступными вычислительными ресурсами и педагогическими целями. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к более совершенным гибридным решениям, сочетающим лучшие качества различных подходов [4].

Кроме того, применение искусственного интеллекта в образовательных учреждениях высшего образования позволяет реализовывать адаптивное обучение, подстраиваясь под уровень знаний и потребности каждого студента [2]. Однако остаются вопросы, связанные с алгоритмической предвзятостью и необходимостью критического осмысления выдаваемых ответов [5].

Таким образом, выбор модели для внедрения искусственного интеллекта в высшем образовании должен базироваться на балансе между точностью, доступными вычислительными ресурсами и педагогическими целями. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к более совершенным гибридным решениям, сочетающим лучшие качества различных подходов [4]. Для объективной оценки различных подходов к обработке естественного языка в высшем образовании была составлена сравнительная таблица (таблица 1). В ней рассматриваются ключевые критерии, такие как точность обработки, адаптивность, вычислительные затраты, скорость работы и этические аспекты.

ТАБЛИЦА 1. Таблица сравнения языковой модели и традиционных алгоритмов

Критерий	GPT (Transformer)	Традиционные алгоритмы	Гибридные модели
Точность обработки	Высокая [1]	Средняя [3]	Высокая [4]
Адаптивность	Высокая [1]	Низкая [3]	Средняя [4]
Скорость обработки	Средняя [5]	Высокая [3]	Средняя [4]
Вычислительные затраты	Высокие [5]	Низкие [3]	Средние [4]
Простота внедрения	Средняя [2]	Высокая [3]	Средняя [4]
Этические риски	Высокие [4]	Низкие [3]	Средние [4]
Применимость в образовании	Высокая [2]	Средняя [3]	Высокая [4]

Чтобы добавить конкретики в сравнительный анализ, был построен альтернативный группированный столбчатый график (рис. 1), который иллюстрирует оценку моделей по двум ключевым параметрам: сложности развертывания и точности работы.

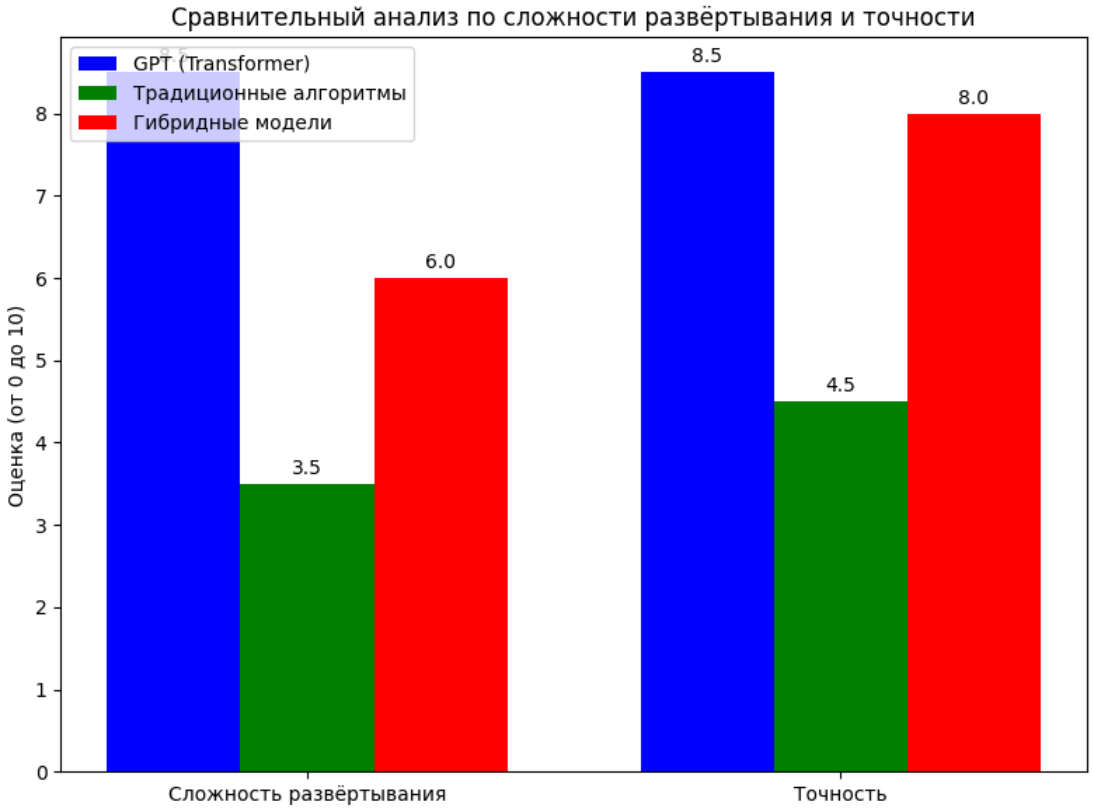


Рис. 1. Сравнительный анализ языковых моделей

GPT-модели, основанные на архитектуре трансформеров, демонстрируют высокую точность обработки при значительной сложности разверты-

вания, что отражает их высокую эффективность, но также указывает на существенные требования к вычислительным ресурсам и инфраструктуре. В то же время традиционные алгоритмы, хоть и легче внедряются, обладают заметно меньшей точностью, что делает их менее подходящими для задач, требующих высокой детализации и адаптивности. Гибридные модели занимают промежуточное положение, сочетая приемлемый уровень сложности развертывания с высоким качеством обработки, что позволяет рассматривать их как компромиссное решение для образовательной среды. Такой анализ помогает сделать обоснованный выбор, ориентируясь на приоритеты учреждения и доступные ресурсы.

В последние годы российские вузы активно внедряют виртуальных ассистентов на основе трансформерных нейронных сетей для повышения эффективности образовательного процесса и оптимизации рутинных задач. Ниже представлена таблица 2, отражающая использование таких технологий в различных учебных заведениях.

ТАБЛИЦА 2. Использование трансформерных нейронных сетей в ВУЗ

Учебное заведение	Технология	Описание
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)	Нейросетевая генеративная модель с использованием RAG-пайплайна	ИИ-ассистент, предоставляющий круглосуточные консультации по учебным, административным и социальным вопросам в формате чат-бота [6]
Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (РАНХиГС)	GigaChat MAX	AI-помощник, интегрированный в Telegram, помогает студентам, преподавателям и абитуриентам находить информацию, связанную с учебным процессом, поступлением и административными задачами [7]
Российский государственный университет социальных технологий (РГУ СоцТех)	GigaChat	AI-помощник, интегрированный в Telegram, помогает студентам и преподавателям искать информацию и решать рутинные задачи, связанные с учебным процессом и административными вопросами [7]

Учебное заведение	Технология	Описание
Российский университет дружбы народов (РУДН)	GigaChat	Виртуальный студент «Гриша Ильсаев», предоставляющий консультации по учебным дисциплинам, генерирующий персонализированные учебные планы и выступающий в роли виртуального наставника для студентов [7]
Университет ИТМО	Собственная разработка на основе искусственного интеллекта	Виртуальный ассистент «Цифработ», созданный студентами магистратуры AI Talent Hub, выполняет функции технической поддержки, HR-специалиста, копирайтера и менеджера [7]
Кубанский государственный аграрный университет (КубГАУ)	Платформа «Цифровые ассистенты»	Проект, запущенный совместно с НИУ ВШЭ, направлен на вовлечение студентов в проекты цифровой трансформации вуза [7]

Современные тенденции в сфере искусственного интеллекта для высшего образования демонстрируют явное предпочтение трансформерным архитектурам, таким как GPT и GigaChat. Эти модели обеспечивают высокую точность обработки естественного языка, адаптивность и возможность персонализированного обучения, что делает их востребованными в вузах для поддержки студентов и преподавателей. Однако их применение сопряжено с высокими вычислительными затратами и требует значительных ресурсов для обучения и развертывания [1, 5].

Традиционные алгоритмы, основанные на правилах и статистике, остаются актуальными благодаря простоте внедрения и высокой скорости обработки, но уступают нейросетевым решениям по точности и гибкости [3]. Гибридные модели представляют собой компромиссный вариант, объединяя сильные стороны обоих подходов, однако их настройка требует дополнительных затрат [4].

Как показывает практика российских университетов, интеграция ИИ-ассистентов на базе трансформеров становится наиболее распространенным решением, несмотря на сложности в реализации. Это подтверждает общий тренд на внедрение современных языковых моделей в образовательную среду, что способствует автоматизации рутинных процессов и повышению эффективности обучения.

Список используемых источников

1. García-Méndez S., Arriba-Pérez F., Somoza-López M. C. The Role of Large Language Models in Personalized Learning // Science & Education. 2024. DOI: 10.1007/s11191-024-00530-2.

2. Prajapati J. B., Kumar A., Singh S. et al. Artificial intelligence-assisted generative pre-trained transformers for applications of ChatGPT in higher education among graduates // SN Social Sciences. 2024. DOI: 10.1007/s43545-023-00818-0.

3. Reda M. A. Intelligent Assistant Agents: Comparative Analysis of Chatbots through Diverse Methodologies // Global Scientific Journal. 2024. Vol. 12, Issue 10. ISSN 2320-9186.

4. Iorliam A., Ingyo J. A. Comparative Analysis of Generative AI Tools for Natural Language Processing // Journal of Computing Theories and Applications. 2024. Vol. 1, No. 3, pp. 311-325. DOI: 10.62411/jcta.9447.

5. A Review on the Use of Large Language Models as Virtual Tutors // IEEE Xplore. 2024. DOI: 10.1109/10440622.

6. CNews. В НИУ ВШЭ разработали ИИ-ассистента для студентов и сотрудников учебных офисов. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2024-11-22_v_niu_vshe_razrabotali_ii-assistenta?utm_source=chatgpt.com (дата обращения 25.11.2024).

7. Ведомости. Как российские и зарубежные вузы внедряют ИИ в обучение студентов. URL: https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2024/11/06/1073238-kak-rossiiskie-vnedryayut?utm_source=chatgpt.com (дата обращения 25.11.2024).

COMPARATIVE ANALYSIS OF NEURAL NETWORK LANGUAGE MODELS FOR DEVELOPING VIRTUAL ASSISTANTS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

[1]Vasiliev N., [2]Vladimirov I., [2]Podgoretsky V., [1]Shelegov G.
[1]Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny
[2]Special Technology Center

The article explores the application of neural network language models in higher education to personalize learning, automate tasks, and support students and educators. A comparative analysis of transformer architectures, traditional algorithms, and hybrid models is conducted, considering accuracy, adaptability, computational costs, and ethical implications. Special emphasis is placed on the role of virtual assistants in the educational process and the necessity of balancing technological capabilities with pedagogical objectives.

Key words: *artificial intelligence, language models, higher education, adaptive learning, natural language processing, transformers, learning personalization, virtual assistants*

УДК 004.8
ГРНТИ 28.23.01

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

Н. А. Васильев, А. А. Грибовский, П. А. Илясов, Ю. Н. Лысенков

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье рассматривается применение технологий искусственного интеллекта в электронных информационно-образовательных средах. Особое внимание уделяется разработке и внедрению виртуального ассистента, который способен повышать эффективность учебного процесса. Рассматриваются основные функции, преимущества и перспективы использования виртуальных помощников в образовании.

искусственный интеллект, виртуальный ассистент, автоматизация обучения

Современные технологии искусственного интеллекта активно внедряются в различные сферы жизни, включая образование. Электронные информационно-образовательные среды становятся все более интеллектуальными благодаря использованию нейросетей, машинного обучения и обработки естественного языка. Одним из перспективных решений является внедрение виртуального ассистента, который способен значительно упростить взаимодействие пользователей с образовательными платформами и повысить уровень персонализации обучения [1].

Виртуальный ассистент может обладать широкими возможностями, среди которых:

– ответы на вопросы пользователей – анализируя базу знаний и используя алгоритмы нейросетевого моделирования, ассистент может предоставлять релевантную информацию в удобном формате;
– создание задач и управление ими – пользователи могут планировать свою учебную деятельность, получая своевременные напоминания о важных событиях;
– взаимодействие с операционной системой и другими полезными системами – позволяет автоматизировать рутинные процессы, облегчая работу студентов и преподавателей.

Из этих возможностей виртуального ассистента вытекают следующие преимущества:

– персонализация обучения – ассистент может адаптироваться под индивидуальные потребности пользователя, предоставляя персонализированные рекомендации и адаптируя материал под уровень знаний учащегося;
– доступность информации – моментальный доступ к учебным материалам и справочным данным, что значительно ускоряет поиск нужной информации;
– автоматизация рутинных задач – возможность автоматического создания напоминаний, управления задачами и планирования учебного процесса;
– интерактивное взаимодействие – благодаря поддержке голосового общения и чат-интерфейса, процесс взаимодействия с платформой становится более естественным и удобным;
– поддержка многозадачности – возможность одновременного выполнения нескольких функций, таких как поиск информации, формирование отчетов и контроль выполнения заданий.

Предлагаемый виртуальный ассистент состоит из двух ключевых компонентов: клиентской части на *Unity* и серверной части на *Python* [2]. Клиентская часть обеспечивает взаимодействие с пользователем, тогда как серверная часть отвечает за обработку данных, работу с базой данных *SQLite* и выполнение вычислений с использованием нейронной сети, подключенной через *API*. Структурная схема виртуального ассистента продемонстрирована рис. 1.

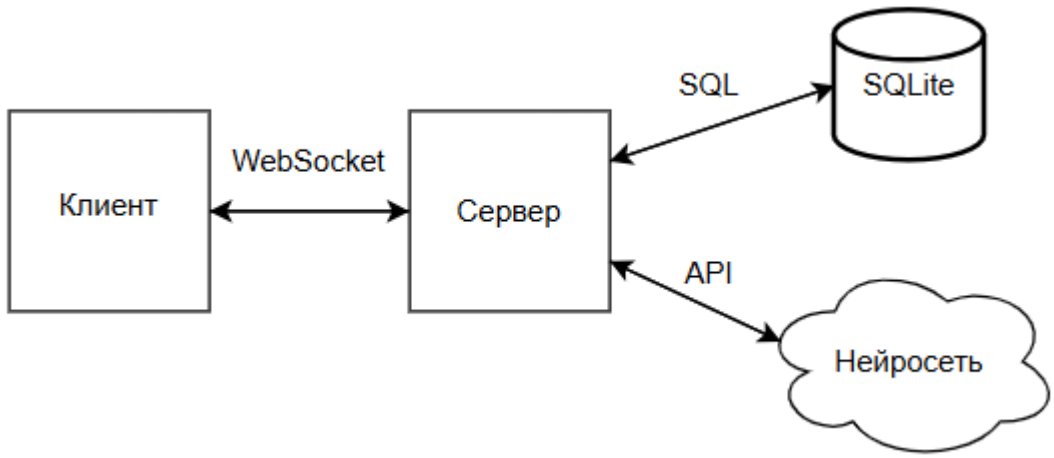


Рис. 1. Структурная схема виртуального ассистента

Клиентская часть виртуального ассистента реализована в виде приложения на *Unity*. Ее основная задача – обеспечение удобного пользовательского интерфейса и взаимодействие с сервером. Основные функции клиент-

ской части: распознавание голоса, обработка текстовых запросов и отображение ответов.

Клиент отправляет запросы на сервер с помощью *WebSockets*, что позволяет обеспечить быстрое и стабильное соединение для обработки данных в режиме реального времени.

Серверная часть отвечает за обработку пользовательских запросов, взаимодействие с базой данных, а также отправку и получение запросов к нейросети через *API* [3]. На сервере реализовано преобразование речи в текст с помощью библиотеки *Vosk*, библиотека работает без подключения к интернету.

Для обработки и генерации ответов виртуальный ассистент использует нейронную сеть, подключенную через API. Нейронная сеть отвечает за анализ входящих текстовых запросов, генерацию осмысленных и релевантных ответов, а также за их синтез в аудиоформате.

Обученная языковая модель позволяет ассистенту не только отвечать на общие вопросы, но и оперировать специализированной информацией, что делает его эффективным инструментом в образовательной среде. Для ускорения обработки запросов реализован механизм распараллеливания вычислений на серверной части.

Для хранения и управления списком задач виртуальный ассистент использует базу данных *SQLite*. Это легковесная, но мощная реляционная база данных, которая позволяет эффективно работать с задачами, обеспечивая их сохранение, обновление и удаление [4]. При создании новой задачи она автоматически добавляется в базу данных, а ассистент следит за сроками выполнения и уведомляет пользователя о приближении дедлайна. В случае необходимости задачи можно редактировать или удалять. Запись и чтение задач из базы данных продемонстрированы на рис. 2 и рис. 3.

```
public void WriteTheTask(string task){
    _connection = connectToDatabase();
    _connection.BeginTransaction();
    string querry = $"INSERT INTO task (TaskInfo) VALUES ('{task}')";
    _connection.Execute(querry);
    _connection.Commit();
    _connection.Close();
}
```

Рис. 2. Запись задач в базу данных

```
public List<Record> CheckTheTasks(){

    _connection = connectToDatabase();
    _connection.BeginTransaction();
    string query = $"SELECT * FROM task";
    var results = _connection.Query<Record>(query);
    _connection.Close();
    return results;

}
```

Рис. 3. Чтение задач из базы данных

В заключение можно отметить, что применение технологий ИИ в образовательной среде открывает новые горизонты для улучшения учебного процесса. Виртуальные ассистенты способны не только облегчить доступ к знаниям, но и создать комфортную цифровую среду, адаптированную под потребности каждого пользователя. Развитие подобных решений способствует повышению эффективности и интерактивности обучения, делая его более удобным и доступным.

Список используемых источников

1. Ясницкий Л. Н., Черепанов Ф. М. Искусственный интеллект. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 216 с.

2. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2024, 822 с.

3. Зотова Ю. А., Котилевец И. Д. Разработка архитектуры rest api для взаимодействия с сервисами приложения // Информационные технологии и математическое моделирование систем 2018, 2018. С. 61–65.

4. Советов Б. Я., Цехановский В. В., Чертовской В. Д. Москва: Издательство Юрайт, 2018. 403 с.

5. Васильев Н. А., Садовников В. Е., Лаута О. С., Котенко И. В., Саенко И. Б., Голошумов И. Е. Программа обнаружения угроз безопасности моделей искусственного интеллекта, использующихся в интеллектуальных системах поддержки принятия решения автоматизированных систем управления // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2024.

6. Деревянко М. И., Конев И. А., Муравлянников И. А., Магера М. А., Васильев Н. А., Григорец Д. Р., Равочкин Ю. С., Матына В. В., Николаев А. Д., Тихонов С. С., Тучин Г. А. Модуль анализа интеллектуальной информационно-образовательной системы "Цифровой двойник будущего офицера" – компьютерная логическая игра "Пазл", 2025.

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN ELECTRONIC INFORMATION AND EDUCATIONAL ENVIRONMENTS

Vasiliev N., Gribovsky A., Ilyasov P., Lysenkov Yu.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The article explores the application of artificial intelligence technologies in electronic information and educational environments. Special attention is given to the development and implementation of a virtual assistant designed to enhance the efficiency of the educational process. The paper discusses the main functions, advantages, and future prospects of using virtual assistants in education.

Key words: *artificial intelligence, virtual assistant, learning automation*

УДК 621.396
ГРНТИ 43.33.29

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ К ЗАДАЧАМ ОПТИМИЗАЦИИ V2X СИСТЕМ

А. Г. Владыко, П. В. Плотников, Р. В. Суравцев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

С развитием инфраструктуры V2X (Vehicle-to-Everything) возрастает потребность в эффективной передаче данных между граничными устройствами, что требует оптимизации работы системы для снижения затрат. В этом контексте алгоритмы, имитирующие поведение природных систем, такие как муравьиный, серых волков и пчелиного роя, оказываются полезными инструментами. Они помогают решать задачи распределения вычислительных ресурсов и минимизации задержек, вызванных перегрузками сети. В статье представлен анализ этих алгоритмов с оценкой их производительности по критериям скорости, эффективности и применимости в различных условиях.

V2X системы, алгоритмы оптимизации, метаэвристические алгоритмы

Введение

Непрерывное развитием транспортных систем [1, 2] и увеличением числа подключенных транспортных средств (ТС) растет потребность в эффективных технологиях для обеспечения безопасного и непрерывного обмена информацией между ТС и дорожной инфраструктурой. Vehicle-to-Everything (V2X) [1–3] – это передовая технология, позволяющая транспортным средствам взаимодействовать с другими участниками дорожного движения и окружающими объектами инфраструктуры, что способствует существенному повышению уровня безопасности, эффективности и стабильности дорожного движения. Структура V2X системы содержит набор базовых узлов, включающих в себя: бортовые устройства (On-Board Unit, OBU), установленные на каждом транспортном средстве, придорожные устройства (Road-Side Unit, RSU), расположенные вдоль дорог, и каналов связи. Вместе с тем, возникают серьезные сложности при организации взаимодействия элементов V2X системы, такие как перегрузка сети, необходимость оптимизации ресурсов и поддержание высокого качества связи. Оптимизационные алгоритмы, имитирующие поведение природных систем,

такие как муравьиная колония, серые волки и пчелиный рой, обладают большим потенциалом для решения рассматриваемого класса задач благодаря своей способности адаптироваться к динамически меняющимся условиям, возникающих в сетевой среде транспортных систем.

1. Алгоритмы оптимизации

Благодаря V2X системам решается широкий спектр проблем [1, 2], таких как повышение безопасности, оптимизация транспортного потока и поддержка связи с дорожной инфраструктурой. Однако, одной из ключевых сложностей при организации работы этих систем является обеспечение высокой эффективности при одновременном учете двух важных показателей: временной задержки и объема обрабатываемых ресурсов. Для достижения этой цели активно применяются методы кластеризации в сочетании с различными оптимизационными алгоритмами [3, 4].

В данной работе рассматриваются три популярных мета эвристических алгоритма оптимизации: Grey Wolf Optimizer (GWO), основанный на модели поведения волчьих стай, Non-Reciprocal Improved Artificial Bee Colony (NR-IABC), имитирующий поведение пчелиного роя, и Ant Colony Optimization (ACO), основанный на действиях муравьиной колонии. Эти алгоритмы помогают находить оптимальные решения для сложных задач, возникающих в V2X системах, таких как распределение частот, управление трафиком и минимизация задержек.

Эффективность каждого из этих алгоритмов была оценена по нескольким ключевым параметрам:

1. Производительность. Эффективность алгоритмов при решении конкретной задачи;

2. Быстродействие. Оценка скорости выполнения алгоритмов под конкретную задача, учитывая важность сред с высокой загруженностью, где требуется мгновенный отклик;

3. Область применения. Отражает гибкость алгоритма и его пригодность для решения различных типов задач в V2X системах.

1.1. Алгоритм Grey Wolf Optimizer (GWO)

Алгоритм серых волков [5] – это метаэвристический стохастический метод, который заимствует идеи из поведения волчьей стаи во время охоты. В алгоритме выделяется четыре уровня социальной структуры: альфа, бета, дельта и омега. Альфа-волки являются главными в стае и определяют стра-

тегическое направление действий. Бета-волки поддерживают альфу и оказывают влияние на остальных членов стаи. Дельта-волки следуют за альфой и бетой, выполняя второстепенные задачи. Омега-волки занимают самую низкую ступень в иерархии и подчиняются всем остальным.

Алгоритм GWO подходит для поиска RSU в сети V2X. Для этого потребуются выполнить следующие этапы:

1. Начальная популяция "волков" (ТС) случайным образом распределяется по территории с RSU. Популяция делится на альфа-ТС (лучшее решение), бета-ТС (второе лучшее решение), дельта-ТС (третье лучшее решение) и омега-ТС (остальные ТС);

2. ТС движутся в сторону предполагаемого RSU, ориентируясь на альфа-ТС, который задает направление. Этот процесс имитирует охоту волков, окружающих добычу;

3. На каждой итерации ТС пересчитывают свои позиции относительно альфа-, бета- и дельта-ТС, используя специальные формулы, моделирующие поведение волков. Они могут двигаться по прямым или спиральным траекториям, чтобы приблизиться к ближайшему RSU.

4. После каждого перемещения проверяется, стала ли новая позиция ТС лучшей. Если ТС находит более близкое RSU, он становится новым альфа-ТС, заменяя предыдущий. Остальные ТС также могут стать бета- или дельта-ТС, если их позиции оказываются ближе к RSU, чем у предыдущих лидеров;

5. Процесс продолжается до тех пор, пока ТС не соберутся вокруг одного оптимального решения – ближайшего RSU, символизирующего успешную охоту;

6. Алгоритм завершается, когда достигнуто заранее установленное условие (например, максимальное число итераций или достаточное сближение с RSU), и лучшее решение объявляется итоговым.

1.2. Муравьиный алгоритм (Ant Colony Optimization, ACO)

Алгоритм муравьиной колонии (ACO) [6] – это метаэвристический алгоритм, основанный на поведении муравьев при поиске кратчайшего пути к источнику пищи. В контексте V2X он используется для оптимизации различных задач, таких как маршрутизация, распределение ресурсов и поиск ближайшего придорожного устройства (RSU). Основной принцип ACO заключается в том, что муравьи оставляют следы феромонов на своем пути,

которые привлекают других муравьев, что позволяет им находить оптимальные маршруты.

Принцип работы алгоритма при решении задачи для оптимизации V2X системы:

1. ТС получает данные о текущем положении придорожного устройства (RSU) и собирает информацию о всех доступных RSU в зоне покрытия;

2. ТС случайным образом выбирает доступное бортовое устройство (OBU) для установления связи с RSU и измеряет мощность сигнала. Используя полученные данные о мощности сигнала, ТС рассчитывает расстояние от RSU до выбранного OBU;

3. Проверяется, использовалась ли данная OBU в текущей итерации алгоритма. Если да, то возвращается к шагу 2 и выбирается новый RSU;

4. Качество выбранного RSU оценивается с использованием целевой функции, которая учитывает расстояние, мощность сигнала и другие факторы;

5. Полученное решение сравнивается с текущим лучшим решением. Если новое решение лучше, оно запоминается как новое лучшее решение;

6. Шаги 2-5 повторяются для всех доступных RSU, чтобы найти наилучшую комбинацию;

7. После завершения всех итераций возвращается наилучшее найденное решение в качестве рекомендации для выбора ближайшего RSU.

1.3. Алгоритмом пчелиного роя (Non-Reciprocal Improved Artificial Bee Colony, NR-IABC)

Алгоритм пчелиной колонии (NR-IABC) [7] представляет собой сложный метод, основанный на моделировании поведения пчел. Этот алгоритм задействует «искусственных» пчел, которые исследуют пространство возможных решений и собирают данные о соответствующих функциях. Метод включает в себя элементы случайного, локального и глобального поиска, что обеспечивает быстрое и точное обнаружение уникальных решений.

Основные этапы алгоритма:

1. Определяется текущее положение RSU, проводится сбор данных о доступных соседних RSU;

2. Выбор одного из доступных OBU для взаимодействия с RSU путем случайной выборки и получение данных о мощности сигнала;

3. Расчет расстояния от активного RSU до выбранного OBU на основе полученной мощности сигнала;

4. Проверка на предмет того, использовался ли этот OBU ранее в данной итерации. Если да, происходит возврат к этапу выбора нового RSU;

5. Оценка качества выбранной RSU как возможного решения через использование целевой функции;

6. Сравнение полученного результата с наилучшим решением, найденным до настоящего момента. Если результат лучше, он запоминается как текущее оптимальное решение;

7. Повторение шагов 2–6 для всех доступных RSU;

8. Передача наилучшего найденного решения в качестве рекомендации для ближайшего доступного RSU.

2. Оценка эффективности алгоритмов в виде сравнительного анализа

Из вышеописанных принципов можно отметить, что алгоритм NR-IABC наиболее точен и гибок для V2X-систем, а среди GWO и ACO, предпочтение отдается ACO за его лучшую адаптацию к динамическим условиям и высокую точность.

Самым доступным и распространенным в данной категории алгоритмов является алгоритм ACO, т.к. он хорошо изучен и имеет более простую реализацию.

Отметим, что оптимизация V2X систем играет ключевую роль в обеспечении эффективной и безопасной коммуникации между ТС и инфраструктурой. Для решения этой задачи необходимо применение алгоритмов, способных адаптироваться к динамическим условиям V2X среды. В данной статье были описаны алгоритмы трех подходов: GWO (алгоритм серой волчьей стаи), ACO (алгоритм муравьиной колонии) и NR-IABC (улучшенный алгоритм искусственной пчелиной колонии). Сравнительный анализ проводился по таким критериям, как производительность, быстродействие и область применения в V2X. По результатам проведенного сравнительного анализа в таблице 1 отмечены основные преимущества и недостатки алгоритмов по описанным выше критериям. GWO обеспечивает высокую производительность, находя оптимальные решения, важные для точной оптимизации взаимодействия элементов сети. Однако он уступает в быстродействии ACO и NR-IABC. ACO выделяется высокой скоростью, что идеально для динамических задач маршрутизации и управления перегрузками в V2X. NR-IABC сочетает производительность и быстродействие, делая его универсальным для широкого спектра задач V2X, включая оптимальное распределение ресурсов и обеспечение безопасности.

ТАБЛИЦА 1. Сравнительный анализ эффективности алгоритмов по ключевым параметрам

Алгоритмы оптимизации	Производительность	Быстродействие	Область применимости
GWO	+	-	+
ACO	-	+	+
NR-IABC	+	+	+

Список используемых источников

1. Плотников П. В., Владыко А. Г. Минимизация задержек при взаимодействии граничных устройств с использованием кластеризации в сетях VANETs // Труды учебных заведений связи. 2022. Т.8. № 2. С. 6–13.

2. Плотников П. В., Владыко А. Г. Численный анализ математической модели кластерной V2X-системы. // Труды учебных заведений связи. 2023. Т.9. № 1. С. 14-23.

3. Владыко А., Плотников П. В., Суравцев Р. В. Анализ алгоритмов оптимизации V2X систем // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 587-592.

4. Суравцев Р. В. Аналитический обзор подходов к построению моделей V2X-систем // Вестник СПбГУТ, 2023. Т. 1. № 1. С. 3.

5. Mirjalili, Seyedali & Mirjalili, Seyed & Lewis, Andrew. Grey Wolf Optimizer. // Advances in Engineering Software. 2014. Vol. 69. PP. 46-61.

6. Lalitha R. V. S. & Suma Jaya. Communication Using Rfid Tags and Optimizing Through Ant-Colony Algorithm. // International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering. 2015. Vol. 2. P. 3282.

7. Feng M., Yao H., Ungurean I. A Roadside Unit Deployment Optimization Algorithm for Vehicles Serving as Obstacles. // Mathematics. 2022. Vol. 10. P. 3282.

APPLICATION OF METAHEURISTIC ALGORITHMS TO V2X SYSTEMS OPTIMIZATION PROBLEMS

Vladyko A., Plotnikov P., Suravtsev R.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

With the development of Vehicle-to-Everything (V2X) infrastructure, there is an increasing need for efficient data transfer between edge devices, which requires optimizing system performance to reduce costs. In this context, algorithms that mimic the behavior of natural systems, such as ant, gray *wolf and bee swarm, prove to be useful tools. They help in solving the problems of allocating computational resources and minimizing delays caused by network congestion. The paper presents an analysis of these algorithms, evaluating their performance in terms of speed, efficiency and applicability in different environments.*

Key words: *V2X systems, optimization algorithms, metaheuristic algorithms*

УДК 004.9
ГРНТИ 28.19.15

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗНАКОСИНТЕЗИРУЮЩЕГО ИНДИКАТОРА

Д. В. Волошинов, Е. П. Бояшова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Повышение эффективности операционной деятельности в эпоху цифровой трансформации играет огромную роль. При любых производственных операциях возникает информационная потребность в оценке происходящих процессов, оценке данных в режиме реального времени. В виду того, что производственные процессы имеют тенденцию к усложнению в условиях цифровой экономики, появляется необходимость особых средств и инструментов для мониторинга и предотвращения сбоев оборудования. В статье раскрываются особенности методики преподавания дисциплины «Моделирование технических средств индикации», связанные с обусловленностью создания реально работающего объекта на завершающем этапе обучения и комплексного решения конкретной практической задачи. Проектирование технических средств индикации направлено на обретение компетенций в области эргономики и промышленного дизайна студентами кафедры информатики и компьютерного дизайна.

индикаторы информационных систем, визуальные средства отображения информации, мониторинг процессов, методы проектирования

Повышение эффективности операционной деятельности в эпоху цифровой трансформации играет огромную роль. При любых производственных операциях возникает информационная потребность в оценке происходящих процессов, оценке данных в режиме реального времени. Увеличение темпов нарастания потоков информации приводит к повышению требований к условиям контролепригодности технических систем. В проектировании любой технической системы, требующей организации управления и своевременного обнаружения единиц восприятия, особое место занимают визуальные средства отображения информации в качестве основных анализаторов операторской деятельности. В виду того, что производственные процессы имеют тенденцию к усложнению в условиях цифровой экономики, появляется необходимость особых средств и инструментов для мониторинга и предотвращения сбоев оборудования.

Основным инструментом в визуальном отображении информации являются индикаторы. Их основное назначение – передача информации о работе оборудования, мониторинг и измерение различных параметров происходящих процессов [1], своевременная сигнализация оператору об измене-

ниях в состоянии системы. Индикаторы как показатели производственного процесса играют ключевую роль в контроле качества и соблюдении стандартов выпускаемой продукции, мониторинге производительности. С ростом сложности систем и количества параметров ее функционирования увеличивается потребность в постоянном наблюдении за показателями состояния технической системы. В свою очередь, от качества датчиков/индикаторов [2, 3] контролируемой системы зависит точность и эффективность передаваемой оператору информации.

В курсе «Моделирование технических средств индикации» по профилю «Дизайн графических и пользовательских интерфейсов информационных систем» представлена методика поэтапного проектирования [4] технических средств индикации от графического предложения до физического воплощения идей. Студентам предлагается разработать визуализацию форм цифр в динамике [5], предназначенной для установления наличия определенной физической величины или определения ее порогового значения. Разработка представляет собой отдельный модуль, позволяющий преобразовывать форму цифр в зависимости от изменяющегося контролируемого процесса, при этом модуль способен демонстрировать величину отклонений, давая возможность измерять и контролировать степень отклонений в происходящем процессе. Последовательность этапов проектирования знакосинтезирующего индикатора представлена в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Последовательность этапов проектирования знакосинтезирующего индикатора

№ п/п	Название этапа	Содержание этапа
	Исследование концепций применения средств индикации в технике и в быту	Современные средства и методы индикации; типы и характеристики индикаторов; условия эксплуатации; эргономичность средств отображения информации; цветографическое решения для наиболее эффективного восприятия информации
	Исследование принципов формирования и отображения данных средствами индикации	Методы оценки результативности восприятия информации оператором; переход от простой к когнитивной визуализации; анализ использования оптимальных шрифтов
	Исследование материалов и техник проектирования индикатора	Исследование структур и параметров динамического изменения формы цифры; генерация различных вариантов формы цифр

№ п/п	Название этапа	Содержание этапа
		и символов для контроля ха изменениями процессов, проходящих в информационных системах, а также в физических контролируемых процессах
	Дизайн знакосинетзирующего индикатора по собственному эскизу	Графическое представление знакосинетзирующего индикатора; отрисовка эскиза в программе Симплекс
	Разработка знакосинетзирующего индикатора в материале	Выполнение работ по физическому воплощению объекта

Несмотря на кажущуюся неравномерность распределения работ по претворению идеи в физически действующий объект, наибольшая временная нагрузка приходится на выполнение объекта в материале. Ввиду специфики получаемых компетенций в вузе, студент, привыкший оперировать понятием «нажатия кнопки» для решения любых проблем пользователя в данном курсе «Моделирование технических средств индикации» сталкивается с реальностью – учетом всех условий проектирования и существования конкретного физического прибора. Реализация электронного устройства «от идеи до модели» для учебного процесса весьма важно, потому как дает возможность ощутить тонкости существования, условия функционирования объекта, и в процессе выполнения объекта в материале у студента формируется теоретическое мышление, также обучающийся овладевает навыком эксперимента и применения различных методов создания физических моделей.

Список используемых источников

1. Сомов, Д. С. Применение структурно-интегрированных индикаторов в мониторинге сложных технических систем / Д. С. Сомов, А. А. Кочкаров // Труды международной научно-практической конференции "передовые информационные технологии, средства и системы автоматизации и их внедрение на российских предприятиях" Aita-2011, Институт проблем управления РАН, Москва, 04–08 апреля 2011 года. Институт проблем управления РАН, Москва: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2011. С. 205-218. EDN SMXNYT

2. Горячкин Б. С. Анализ оптимальных шрифтов при росте показателей качества воспроизведения символов средствами отображения информации / Б. С. Горячкин, А. А. Сабиров // Евразийский союз ученых. 2019. № 2-1 (59). С. 35-42. EDN UKPVVM.

3. Максимова О. В. Автоматизация процессов измерения светотехнических характеристик наноструктурированных индикаторных устройств / О. В. Максимова, С. В.

Мойсеенко, С. М. Максимов // Автоматизация процессов управления, 2015. № 1(39). С. 106-113. EDN TMUUAD.

4. Самохвалов, М. К. Разработка алгоритмов проектирования тонкопленочных электролюминесцентных индикаторных устройств / М. К. Самохвалов, О. В. Максимова // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки, 2008, № 1(21), С. 99-106. EDN JTBBNL.

5. Цыбов, Н. Н. Особенности создания средств отображения больших объемов визуальной информации / Н. Н. Цыбов // Проблемы автоматики и управления, 2018, № 2(35), С. 69–76, EDN YTDTJJ.

DESIGN OF A CHARACTER-SYNTHESIZING INDICATOR

Voloshinov D., Boyashova E.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Improving operational efficiency plays a crucial role in the age of digital transformation. In any production process, there is an informational need to assess ongoing operations and evaluate data in real time. Given that industrial processes tend to become more complex in the digital economy, there is a growing demand for specialized tools and methods to monitor equipment and prevent failures. This article explores the teaching methodology of the course "Modeling of Technical Indication Devices," focusing on the requirement to develop a fully functional prototype by the end of the training and to solve a specific practical problem comprehensively. The design of technical indication devices aims to equip students from the Department of Informatics and Computer Design with competencies in ergonomics and industrial design.

Key words: *indicators of information systems, visual means of displaying information, process monitoring, design methods*

УДК 004.273
ГРНТИ 20.15.05

ТРУДНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕТА ПРИСУТСТВИЯ СТУДЕНТОВ В СПБГУТ

В. В. Громов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматривается программа учета присутствия студентов на занятиях как основа для изменения поведенческий алгоритмов преподавателей и студентов при проведении лекций, практических и лабораторных занятий.

Анализируются перспективы внедрения опытной эксплуатации программы учета присутствия студентов для современных информационных систем в условиях импортозамещения и дефицита информационных мощностей.

системы виртуальных машин, программные системы, операционные системы

Статья написана по материалам цикла экспериментальных работ, которые были проведены в рамках дисциплины «Архитектура информационных систем» (далее по тексту – АИС) во втором семестре 2024–2025 годов.

Попытка навести порядок в журнале занятий СПбГУТ в 2024 году закончилась удачно проведенным экспериментом, который показал, что это возможно.

Основная цель – автоматизировать процесс регистрации студентов на занятии, путем регистрации их с помощью системы контроля учета доступа и программы учета присутствия студентов (далее по тексту – PUPS: programm unit present student).

Для кого нужна эта программа:

– для преподавателей;
– студентов, исправно и добросовестно посещающих занятия;
– для деканатов;
– для подразделений проректора по безопасности;
– для проректора по учебной работе;
– юридической службы;

Давайте внимательно рассмотрим все приведенные пункты более подробно внимательно рассмотрев их должностные обязанности.

Начнем с преподавателя он ответственен за предоставление информации в электронной ведомости посещения занятий на сайте СПбГУТ. Си-

стема использует данные СКУД (система контроля и управления доступом) которая идентифицирует студента на проходной в здание ВУЗа. Попытка просто посчитать студентов из «лекционного потока» и отметить их в журнале правильно поставив галочку на против фамилии возможно только на лабораторном занятии. В случае проведении лекции для «потока групп» на лекционном занятии перекличка может превратиться в планомерную замену лекции, что скажется на качестве обучения студентов, а подобное действие недопустимо.

В качестве примера автор приводит некоторые цифры по дисциплине АИС, а именно – в настоящее время по данной дисциплине обучается 10 групп, которые разделены на два лекционных потока по 5 групп, в первом – 98, студентов во втором – 124 студента.

Применение программы учета присутствия студентов позволило осуществлять регистрацию студентов в течение 2-3 минут в потоке. Для этого и нужна автоматизация процесса регистрации.

Студентам, исправно и добросовестно посещающих занятия, необходима данная программа для формирования рейтинга и удобства, вызванного автоматизацией процесса регистрации на занятиях, т.к. в настоящее время большинству студентов приходится отмечаться на занятиях вручную [1].

Для подразделений проректора по безопасности необходим контроль за перемещением студентов внутри территории. Приведем пример: студент прошел проходную, но не появился ни на одном занятии, а вышел из ВУЗа вместе со всеми. Казалось бы, он вроде ничего не нарушил, он просто не посещает лекции и лаборатории, он – в стенах ВУЗа. Здесь следует озадачиться вопросом, что делает студен в ВУЗе на протяжении 4-6 часов, что его там держит – основной вопрос для службы безопасности ВУЗа, чтобы обеспечить порядок на территории организации.

Деканаты, подразделения проректора по учебной работе, а также юридическая служба ВУЗа должны наладить процесс контроля исполнения студентом своих обязанностей – добросовестное обучение по профессиональной образовательной программе, освоению такой образовательной программы и выполнению учебного плана.

В случае обнаружения студентов, не присутствующих на занятиях, необходимо применять меры дисциплинарного и административного воздействия к студентам, допустившим нарушение регламента и устава ВУЗа.

Формально данная задача никем не ставилась. Задача была поставлена самой жизнью, т.к. на протяжении более чем 10 лет автор наблюдает, как

некоторые студенты прикрываются студсоветом или работой в ВУЗе и систематически пропускают занятия.

Если студент не посещает занятия может ему перейти на заочный факультет и освободить свое бюджетное место для студента, который желает очно проходить обучение? Это был главный вопрос, который явился двигателем, для создания программы учета присутствия студентов.

В 2024 году была подготовлена докладная записка и оформлен НИОКР на создание программы. Реакция руководства деканата и служб учета информации ВУЗа была положительной.

Для внедрения программы был создан deb-бинарный модуль, который был неоднократно проверен на операционных системах Debian ver. 10, 12 и Astra Linux 1.7.X. Программа имеет текстовый интерфейс для открытой системы и написана на языке GnuCobol [2, 3].

В СПбГУТ программа установлена на персональном компьютере автора статьи и является серверным приложением, которое можно запустить через терминал и использовать по локальной сети ВУЗа с использованием Wi-Fi или Ethernet.

На рисунке 1 представлены две версии программы учета посещаемости студентов снимок слева – программы для macOS, снимок слева – для Linux систем. Есть еще одна версия программы – для работы в среде Windows. Размер бинарных файлов не превышает 100 kB, размер библиотек – 4 MB [4].

В феврале 2025 года было получено разрешение на проведение 2-го этапа опытных работ по внедрению программы на кафедре ИКД.

Использование данной программы на этапе опытной эксплуатации позволило повысить посещаемость, и резко улучшить дисциплину посещаемости студентов. Заметно снизилось число опаздывающих на лекцию и практические занятия, трансформировались поведенческие алгоритмы поведения как студентов и преподавателя. Формально, успех внедрения данной программы в целом зависит от руководства СПбГУТ, с стороны автора подготовлена не только программа учета, но и система отчетности преподавателя с возможностью отображения через WWW-интерфейс, что значительно упрощает контроль за посещаемостью студентов.

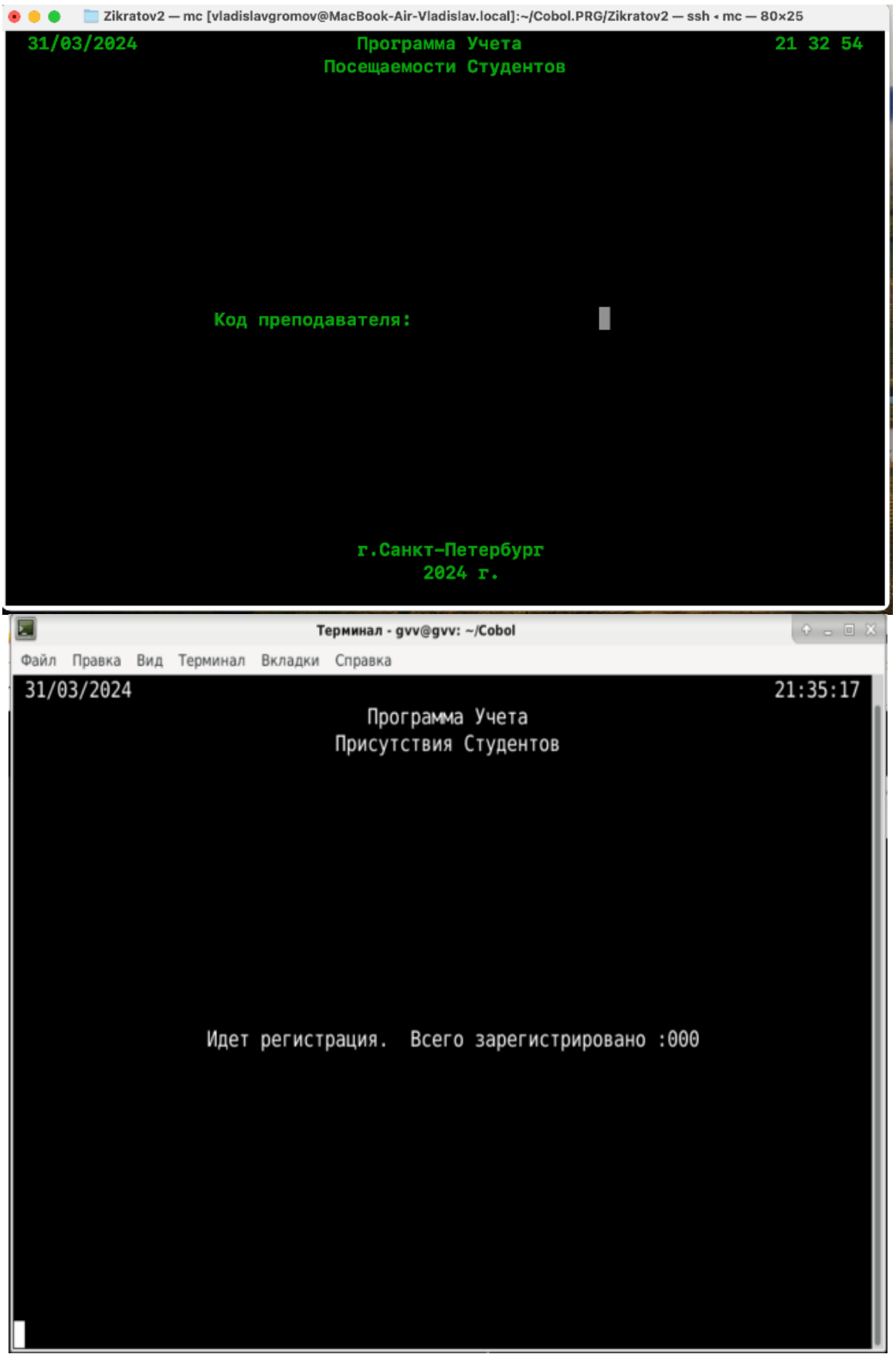


Рис. 1. Программа учета посещаемости студентов

Список используемых источников

1. Сайт СПбГУТ. URL: https://lk.sut.ru/cabinet/?login=yes (дата обращения 30.03.2025).
2. Сайт Операционной системы GNU. URL: https://www.gnu.org/ (дата обращения 30.03.2025).
3. Сайт корпорации GNU Cobol. URL: https://gnucobol.sourceforge.io/ (дата обращения 30.03.2025).
4. Громов В. В. Программа учета присутствия студентов как основа изменения поведенческих алгоритмов в информационных системах // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2024. С. 248-252.

THE REPORT DISCUSSES THE METHODOLOGY FOR TEACHING STUDENTS USING VIRTUAL MACHINE SYSTEMS WHEN PERFORMING EDUCATIONAL TASKS IN THE DISCIPLINE "INFORMATION SYSTEMS ARCHITECTURE" AT THE BONCH-BRUEVICH SAINT PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS

Gromov V.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The report examines the program for recording the presence of students in classes as a basis for changing the behavioral algorithms of teachers and students during lectures, practical and laboratory classes.The prospects for introducing a trial operation of a program for recording the presence of students for modern information systems in the conditions of import substitution and a shortage of information capacity are analyzed.

Key words: *Virtual machine systems, software systems, operating systems*

УДК 004.8
ГРНТИ 28.23.01

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ С ОСОЗНАНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА

А. Н. Губин, В. Л. Литвинов, Ф. В. Филиппов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Исследуются вопросы путей создания механизма сознания искусственного интеллекта. Приводятся примеры построения моделей на базе эмбеддингов концептов онтологий. Рассматриваются особенности использования моделей графовых нейронных сетей для целей формирования ассоциативной памяти на основе глобальной базы знаний. Изучаются примеры графовых нейронных сетей, состоящих из распределенного хранилища графов, оптимизированных операторов выборки и среды выполнения.

искусственный интеллект, графовые нейронные сети, концепты онтологий, связанные открытые данные

Большие языковые модели – Large Language Models (LLM) произвели революцию в области искусственного интеллекта. Технология больших языковых моделей заключается в обработке входных и генерации выходных данных на уровне анализа токенов. Основным механизмом, который используется для этих целей является механизм «внимания» [1]. Такой подход резко контрастирует с тем, как люди используют несколько уровней абстракции, выходя далеко за рамки отдельных слов, чтобы анализировать информацию и генерировать творческий контент. Именно поэтому, еще слишком рано давать утвердительный ответ на вопрос «может ли машина мыслить?». Для того чтобы искусственный интеллект (ИИ) обладал самостоятельным мышлением или сознанием, необходимо, по крайней мере, создать для него механизм «осознания окружающего мира».

Первые попытки приблизить мир компьютеров к «пониманию» контента с целью поиска определенной информации были предприняты путем введения микроформатов и затем микроданных в web-описания. Их назначение – сделать текст не просто набором слов, а придать ему семантическое значение. Фундаментальный подход к решению этой задачи был предложен Тимом Бернерс-Ли [2] в виде расширения веб, в котором информация представлена в структурированном и формализованном виде, что позволяет машинам лучше «понимать» и интерпретировать данные. По сути, современ-

ный семантический веб, реализованный в стандарте RDF, моделирует отношения между ресурсами и представляет их как связные структуры.

Модели различных предметных областей на основе RDF-графов разрабатываются для того, чтобы системы ИИ могли создавать и поддерживать внутренние представления об окружающей среде. Графовые представления в виде онтологий используются для сбора и обработки знаний, основанных на здравом смысле, что является ключевой задачей в области ИИ.

Такие проекты, как ConceptNet [3], создают крупномасштабные графы знаний, которые кодируют факты и взаимосвязи, основанные на здравом смысле. Эти графы могут быть интегрированы с нейронными моделями для обеспечения их способности к обучению и «осознанию» на основе знаний из реального мира. Точно также, как человек в своем творчестве обращается к необходимым справочным ресурсам, системы ИИ могут использовать семантически связанные открытые данные – Linked Open Data (LOD) [4] для осознания окружающего мира в любой предметной области.

По сути, модель LOD представляет из себя постоянно пополняемую глобальную базу знаний в виде агрегации онтологий [5]. Известно, что фундаментальными сущностями онтологий являются концепты, позволяющие формализовать описание объектов любого класса. Использование концептуального подхода позволит смоделировать процесс мышления на чисто семантическом уровне. На практике концепция часто соответствует предложению в текстовом документе или эквивалентному речевому высказыванию. В частности, в фундаментальной работе [6] предложена большая концептуальная модель на базе построителя эмбеддингов предложений SONAR [7]. При этом, предлагаемая идея не выходит за рамки существующих технологий с использованием одного механизма «внимания», а лишь переводит использование этого механизма на более высокий семантический уровень.

Основная идея предлагаемого подхода заключается в использовании, наряду с большой языковой моделью, распределенной графовой нейронной сети Graph Neural Network (GNN) [8], выполняющей роль ассоциативной памяти и реализующий механизм «сознания» ИИ.

Очевидно, сложно реализовать ИИ, способный проявлять выдающиеся интеллектуальные способности во всех сферах человеческой деятельности. Точно также, как люди являются специалистами в разных областях, естественно ориентировать ИИ на определенную предметную область. В этой связи, базовой основой для формирования GNN может служить модель

LOD, точнее домен, соответствующий выбранной предметной области. Этот домен, представляющий распределенное хранилище графов, будет выполнять роль ассоциативной памяти, снабженной операторами выборки. Решение подобных задач представлено в работах [9 – 11].

Особый интерес представляет механизм «сознания» ИИ. Трудно говорить о механизме сознания, когда последнее является далеко неопределенным [12]. Поэтому здесь мы предлагаем придерживаться, по крайней мере, одного из необходимых его свойств – осознания окружающего мира. Таким окружающим миром для ИИ является только та информация, которую предоставляет человек, в том или ином виде. Мы предлагаем предоставлять ее в ассоциативной памяти, реализованной в виде GNN. При этом, коль скоро речь идет об ИИ, специализирующемся на конкретной предметной области или смежных областях, то ассоциативная память, заполняемая этой конкретной информацией, и является его окружающим миром. Постоянное пополнение и модификация ассоциативной памяти будет являться стимулом для активизации механизма «сознания».

Концептуальная схема реализации ИИ представлена на рис. 1. Предлагается размещение приложения в облачном хостинге. Здесь предусмотрено использование целого стека LLM для выбора наилучшей модели (LLM type), которым заведует блок управления ресурсами для определенного запроса. Решение принимается на основе анализа запроса.

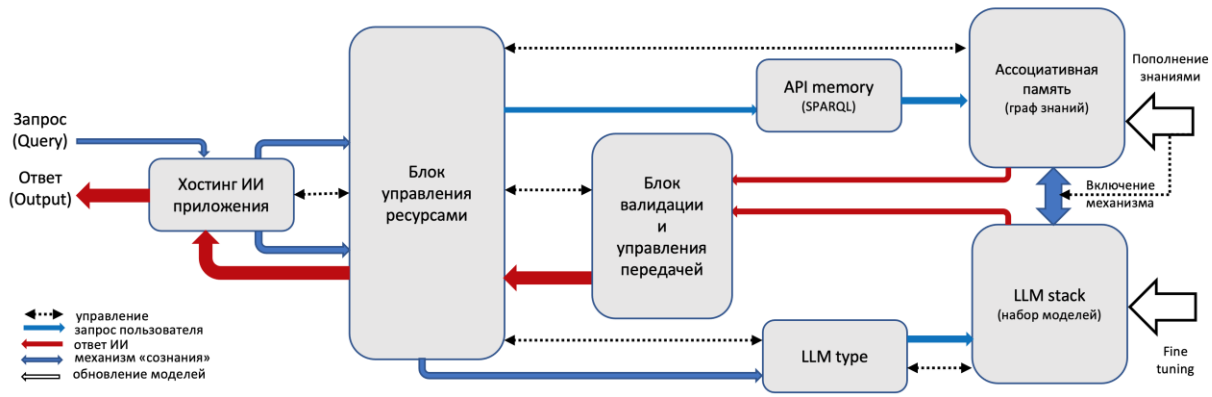


Рис. 1. Концептуальная схема реализации ИИ

Ассоциативная память представлена в виде графа знаний, который представляет из себя ориентированный неоднородный мультиграф. Узлы неоднородны в том смысле, что они представляют разные типы объектов (людей, места, компании, понятия), а несколько ребер могут представлять разные связи между каждым узлом. Особенность GNN состоит в том, что с

каждой вершиной и каждым ребром графа связан эмбеддинг, соответствующий их семантики. Математическая модель его представления состоит из трех матриц: матрицы смежности вершин и двух матриц вложения эмбеддингов вершин и ребер.

В заключении приведем цитату из [13]: «Представьте, что у искусственной системы есть сознание. Как вы будете с ней обращаться? Будете ли вы обращаться с ней как с каким-то ассистентом, агентом, помощником, просто вспомогательным инструментом и так далее? Скорее всего, нет. Появится целый кластер новых этических проблем, которые возникнут перед человеком и будут сопровождать нас до конца. Нам нужно будет адаптировать наше поведение и отношение к большим языковым моделям, потенциально обладающим внутренним миром».

Список используемых источников

1. Vaswani A., Shazeer N. et all Attention Is All You Need // 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017), Long Beach, CA, USA. URL: https://arxiv.org/pdf/1706.03762v5 (дата обращения 10.01.2025).

2. Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. The semantic web // Scientific American; May2001, Vol. 284 Issue 5.. URL: http://echo.iat.sfu.ca/library/berners-Lee_01_semantic_web.pdf (дата обращения 10.01.2025).

3. ConceptNet. URL: http://conceptnet5.media.mit.edu/ (дата обращения 10.01.2025).

4. Blaney J. Introduction to the Principles of Linked Open Data // *Programming Historian* 6 (2017). URL: https://doi.org/10.46430/phen0068 (дата обращения 10.01.2025).

5. The Linked Open Data Cloud. URL: https://lod-cloud.net/ (дата обращения 10.01.2025).

6. Barrault L., Duquenne P.-A., et all Lage Concept Models: Language Modeling in a Sentence Representation Space. URL: https://arxiv.org/pdf/2412.08821 (дата обращения 10.01.2025).

7. Duquenne P.-A., Schwenk H., Sagot D. SONAR: sentence-level multimodal and language-agnostic representations, 2023b.. URL: https://arxiv.org/abs/2308.11466 (дата обращения 10.01.2025).

8. Zheng D., Ma C. at all DistDGL: Distributed Graph Neural Network Training for Billion-Scale Graphs. URL: https://arxiv.org/pdf/2010.05337 (дата обращения 10.01.2025).

9. Khandelwal L., Das S. Applied Deep Learning on Graphs // Packt Publishing Ltd., Birmingham, UK, 2024, p. 229.

10. Zhu R., Zhao K. at all AliGraph: A Comprehensive Graph Neural Network Platform. URL: https://arxiv.org/pdf/1902.08730 (дата обращения 10.01.2025).

11. Mu Z., Tang S. at all Graph neural networks meet with distributed graph partitioners and reconciliations. URL: https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.09.096 (дата обращения 10.01.2025).

12. Искусственное сознание. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Искусственное_сознание (дата обращения 10.01.2025).

13. Танюшина А. Искусственный интеллект – сознание или алгоритм? // Проблемы цифровой философии. URL: https://habr.com/ru/feed/(дата обращения 10.01.2025).

ARTIFICIAL INTELLIGENCE WITH AWARENESS OF THE SURROUNDING WORLD

Gubin A., Litvinov V., Filippov F.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The questions of ways to create a consciousness mechanism of artificial intelligence are being investigated. Examples of model construction based on embeddings of ontology concepts are given. The features of using graph neural network models for the purposes of forming associative memory based on a global knowledge base are considered. Examples of graph neural networks consisting of a distributed graph storage, optimized sampling operators, and a runtime environment are studied.

Key words: *artificial intelligence, graph neural networks, concepts of ontologies, related open data*

УДК 004.8
ГРНТИ 28.23.15

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. Н. Губин, В. Л. Литвинов, Ф. В. Филиппов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В современном мире изображения играют ключевую роль в различных областях, начиная от медицинских диагностических систем до развлекательной индустрии. Однако качество изображений может быть подвержено различным искажениям, в том числе размытости, вызванной несовершенством оборудования или условий съемки. Поэтому существует потребность в разработке методов улучшения качества изображений, включая повышение их резкости. В работе проведен сравнительный анализ современных методов увеличения резкости изображений, а также даны рекомендации по выбору оптимального метода в зависимости от типа изображения и поставленной задачи.

обработка изображений, восстановление изображений, инверсная фильтрация.

Повышение резкости изображений представляет собой процесс увеличения контрастности на границах объектов и уменьшения эффекта размытости. Это позволяет улучшить визуальное восприятие изображения и повысить его информативность. Классическая модель искажений изображения, приводящих к потере резкости может быть представлена в следующем виде [1, 2]:

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + n(x, y),$$

где $f(x, y)$ – исходное неискаженное изображение;

$h(x, y)$ – искажающая функция (как правило, не точно известная);

$n(x, y)$ – аддитивный шум (может сочетаться с импульсным);

$g(x, y)$ – результат искажения (наблюдаемое смазанное или расфокусированное изображение).

Сложность задачи восстановления изображений обусловлена некорректностью решения задачи обратной (инверсной) свертки в присутствии шумов [3].

Классификация методов восстановления резкости изображений приведена на рисунке 1. Выделяются традиционные методы, методы на основе машинного обучения и гибридные, сочетающие оба подхода.

Традиционные методы базируются, как правило, на использовании обратного фильтра (например, инверсии ядра размытия). Из-за высокой чувствительности к шуму применяются алгоритмы регуляризации.

Рис. 1. Классификация методов восстановления резкости изображений

Например, фильтр Винера рассматривает изображение и шум как случайные процессы и находит такую оценку f^* для неискаженного изображения f, чтобы среднеквадратическое отклонение этих величин было минимальным. Минимум этого отклонения достигается на функции в частотной области. Этот результат был получен Винером еще в 1942 году.

Тихоновская регуляризация (1965) заключается в формулировке задачи в матричном виде с дальнейшем решением соответствующей задачи оптимизации (сглаживающая фильтрация методом наименьших квадратов со связью) в виде:

$$F^*(u,v) = \frac{H^*(u,v)}{|H(u,v)|^2 + \propto |P(u,v)|^2} G(u,v),$$

где α – параметр регуляризации, а $P(u, v)$ – Фурье-преобразование оператора Лапласа.

Еще один интересный подход предложили независимо Ричардсон и Люси [4]. Отличительная особенность метода Люси-Ричардсона в том, что он является нелинейным, что потенциально может дать лучший результат.

Вторая особенность – метод является итерационным, соответственно возникают трудности с критерием останова итераций. Основная идея состоит в использовании метода максимального правдоподобия, для которого предполагается, что изображение подчиняется распределению Пуассона. Однако, вычислительная сложность метода очень большая – обработка средней фотографии, в зависимости от количества итераций, может занимать многие часы и даже дни. Для уменьшения сложности можно использовать методы матричной декомпозиции [5].

Итеративный метод решения обратных задач – алгоритм Ландвебера является одной из альтернатив регуляризации Тихонова. Предложен автором еще в 1951 году. В настоящее время метод признан или переоткрыт многими научными сообществами, особенно теми, которые изучают некорректно поставленные задачи. Например, в компьютерной томографии он называется методикой одновременной итерационной реконструкции (SIRT, англ. simultaneous iterative reconstruction technique).

Целое семейство методов, которые сейчас активно разрабатываются и развиваются – это слепая деконволюция (blind deconvolution). Во всех предыдущих методах предполагалось, что искажающая функция (PSF) хорошо известна, но в реальности это не так. Обычно она известна лишь приблизительно по характеру видимых искажений. Слепая деконволюция является попыткой это учитывать. Принцип достаточно простой, если не углубляться в детали – выбирается первое приближение PSF, далее по одному из методов делается деконволюция, после чего некоторым критерием определяется степень качества, на основе нее уточняется функция PSF и итерация повторяется до достижения нужного результата [2].

Методы на основе машинного обучения используют либо сверточные нейронные сети (CNN), обученные на парах "размытое/резкое" изображение, либо генеративно-состязательные сети (GAN) для восстановления резкости с высокой визуальной точностью.

Методы с использованием априорных знаний используют обучение моделей машинного обучения на основе априорных данных о структуре изображений (например, текстур, границ).

Гибридные методы – это комбинация традиционных методов и методов глубокого обучения для повышения устойчивости и качества восстановления.

В работе проведен сравнительный анализ методов восстановления изображений. Оценка качества восстановленных изображений может быть субъективной, поскольку восприятие искажения может зависеть от ряда факторов, однако существуют и некоторые объективные критерии. Самые распространенные из них это PSNR и SSIM, которые используются в качестве основных метрик в литературе и дают наиболее информативную оценку.

PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) – метрика, используемая для оценки уровня шума на изображении. PSNR измеряет отношение сигнала к шуму, вычисляется на основе среднеквадратичного отклонения (MSE) между восстановленным и оригинальным изображением.

$$PSNR = 20\,log_{10}\left(\frac{MAX_i}{\sqrt{MSE}}\right),$$

где MAX_i – максимальная интенсивность пикселя (в 8-битном изображении равно 255), *MSE* (Mean Squared Error) – метрика, которая измеряет среднеквадратичное отклонение между оригинальным и восстановленным изображением:

$$MSE = \frac{1}{mn}\sum_{i=0}^{m-1}\sum_{j=0}^{n-1}|I(i,j) - K(i,j)|^2,$$

где $m*n$ – общее количество пикселей на изображении, $I(i, j)$ – значение пикселя на оригинальном изображении, $K(i, j)$ – на восстановленном.

SSIM (Structural Similarity Index) – метрика, учитывающая структурную схожесть между оригинальным и восстановленным изображением. SSIM учитывает не только яркость и контрастность, но текстуры и структуру изображения:

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)},$$

где μ_x – среднее значение для первой картинки, μ_y – для второй, σ_x – среднеквадратичное отклонение для первой картинки, σ_y – для второй, σ_{xy} – ковариация между первым и вторым изображением, c_1 и c_2 – поправочные коэффициенты.

Тестирование эффективности методов проводилось на датасете Колера и на датасете GoPro. На рисунке 2 приведены наглядные результаты рестав-

рации смазанного изображения. Метод слепой деконволюции неплохо справляется с изображениями Колера (рисунок 2, слева и в центре), но в реальных изображениях (рисунок 2, справа) хоть и определяет довольно точно ядро размытия, повышая четкость, но не удаляет смаз. Тогда как восстановление с помощью GAN показывает превосходные результаты в обоих случаях. В таблицах 1 и 2 приведены метрики сравнения изображений, демонстрирующие превосходство технологий GAN.

При этом использование GAN является менее времязатратным. На обработку изображения 720x720 у GAN уходит около 1 секунды, слепая деконволюция тратит на это в среднем 45 секунд.

Рис. 2. Результаты восстановления изображений

ТАБЛИЦА 1. Метрика PSNR для изображений на рис. 2

Метод	Рисунок 2, слева	Рисунок 2, в центре	Рисунок 2, справа
Blind-Deconv	22.92	20.04	17.35
GAN	24.89	25.67	28.54

ТАБЛИЦА 2. Метрика SSIM для изображений на рис. 2

Метод	Рисунок 2, слева	Рисунок 2, в центре	Рисунок 2, справа
Blind-Deconv	0.44	0.39	0.6
GAN	0.75	0.82	0.91

Список используемых источников

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. М.: Техносфера, 2006. 616 с.

2. Восстановление расфокусированных и смазанных изображений. URL: https://habr.com/ru/articles/136853/ (дата обращения 04.03.2025).

3. Бейтс Р., Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений. М.: Мир, 1989. 336 с.

4. Гарифуллин Н. Б., Литвинов В. Л. Применение современных нейросетевых технологий в компьютерной графике // Региональная информатика (РИ-2024). Материалы XIX Санкт-Петербургской международной конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 406-407.

5. Litvinov V. L., Kozlova L. P., Filippov F. V. The use of a matrix decompositions for dimension reduction of training sample // В сборнике: 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS). Dr. Mikhail Shestopalov; Co-chair of the Conference Organizing Committee, Chair of the IEEE Russia NW Section; Vice Rector for Research, Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”. 2017. С. 282-284.

STUDY OF IMAGE SHARPENING METHODS

Gubin A., Litvinov V., Filippov F.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In today's world, images play a key role in various fields, ranging from medical diagnostic systems to the entertainment industry. However, the image quality can be subject to various distortions, including blurring caused by imperfect equipment or shooting conditions. Therefore, there is a need to develop methods to improve the quality of images, including increasing their sharpness. The paper provides a comparative analysis of modern methods of image sharpening, as well as recommendations on choosing the optimal method depending on the type of image and the task at hand.

Key words: *image processing, image restoration, inverse filtering*

УДК 004.8
ГРНТИ 28.23.01

СЕМАНТИЗАЦИЯ ДАННЫХ

А. Н. Губин, В. Л. Литвинов, Ф. В. Филиппов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассматриваются методы семантизации данных. Особое внимание уделено вопросам семантизации данных с использование когнем. Предложенный подход позволяет представить результат семантизации как совокупность соединенных между собой единиц элементарного знания – когнем.

данные, семантизация данных, когнема.

В современном мире, где объем данных растет с каждым днем, семантизация данных становится одной из ключевых задач для повышения эффективности использования больших данных. Семантизация – это процесс определения смысла рассматриваемых данных, который позволяет не только структурировать данные, но и улучшить их интерпретацию и использование. Ниже рассматриваются основные аспекты семантизации данных, ее методы и особенности реализации в различных областях науки и техники.

Процесс семантизации данных включает в себя создание семантических моделей, которые описывают элементы данных и отношения между этими элементами. Процесс может включать создание онтологий, таксономий и других формальных представлений знаний. Основная цель семантизации – сделать данные более понятными для компьютеров и людей, что позволяет улучшить поиск, анализ и использование информации.

Примером семантизации может служить создание семантической сети, где узлы представляют собой некие сущности, а ребра – отношения между ними. Такой подход позволяет не только достаточно эффективно организовать хранение данных, но и извлекать из таких хранилищ новые семантические связи.

К основным методам семантизации можно отнести:

– Создание онтологий [1]. Под онтологией следует понимать формальное представление знаний в определенной области деятельности человека, которые определяют набор понятий в рассматриваемой области и отношений между ними. Онтологии позволяют унифицировать терминологию и обеспечить общую основу для обмена данными.
– Использование тегов и метаданных [2]. Использование тегов для описания данных позволяет легко находить и классифицировать информацию.

Метаданные предоставляют дополнительную информацию о данных, такую как авторство, дата создания и контекст.

– Семантические веб-технологии [3]. Такие технологии, как RDF (Resource Description Framework) и OWL (Web Ontology Language), позволяют создавать семантически определенные данные, которые могут быть легко использованы компьютерами. Это делает данные более доступными автоматизацию анализа, визуализации и интеграции данных.
– Машинное обучение [4]. Алгоритмы машинного обучения могут быть использованы для автоматической семантизации данных. Например, с помощью методов естественной обработки языка (NLP) можно извлекать смысловые связи из текстов и структурировать их.

Для всех отмеченных методов семантизации данных общей операцией является погружение данных в пространство имен отношений.

Так, например, очевидно, что семантика представленных ниже данных 20, 30, 50 не определена, однако при использовании пространства имен: высота, ширина, длина, определении размерности (единиц измерения) данных и установлении связей межу элементами данных и именами, получим информацию о габаритных размерах некоторого блока.

Если те же данные погрузить в другое пространство имен: кислород, азот, гелий, то после определения размерности данных и установлении связей межу элементами данных и именами, получим информацию о составе газовой смеси для дыхания водолазов (тримикс).

Результат одного из вариантов семантизации данных 20, 30, 50 можно представить в виде семантической сети, построенной согласно RDF-технологии (рис. 1).

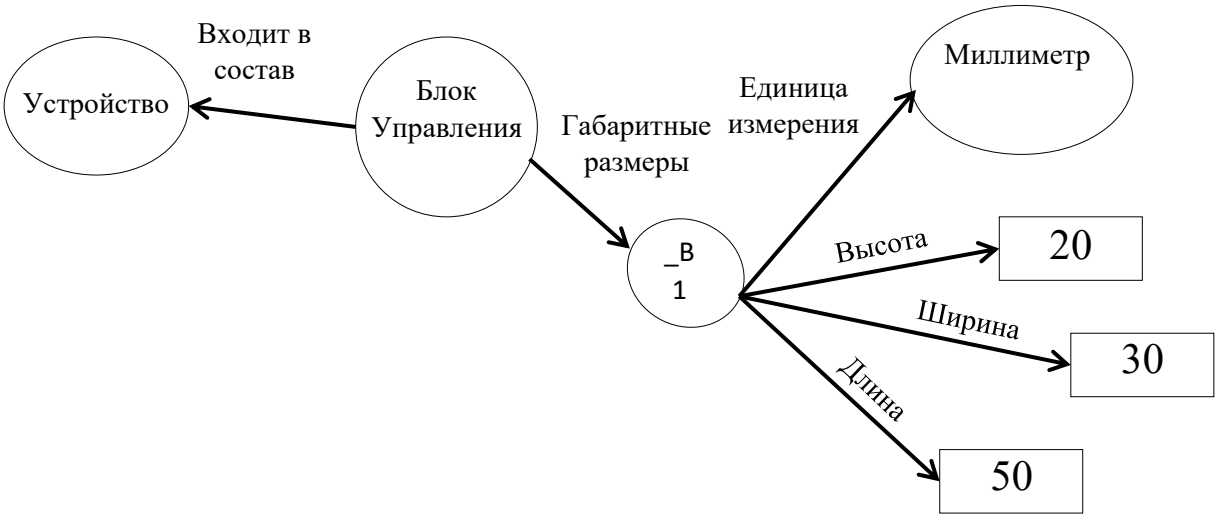


Рис. 1. Результат семантизации данных 20, 30, 50, где _B1 – пустой узел, используемый для структуризации данных

Одним из подходов к семантизации данных, который привлекает внимание в последнее время, является использование когнем [5, 6]. Когнема представляет собой единицу знания, которая включает в себя не только факты, но и контекст, связи и значения, что делает достаточно эффективным инструментом для семантизации данных. Далее рассмотрим возможности использования когнем для построения семантической модели данных.

Когнему (рис. 2) можно рассматривать как элементарную единицу знаний, которая включает в себя информацию о сущности, ее атрибутах и взаимосвязях с другими сущностями. В отличие от традиционных данных, которые как правило представляют собой изолированные факты, когнемы обладают семантическим содержанием, позволяя более точно интерпретировать данные.

Графически элементарная единица знания (рис. 2) представляет собой пентаграмму с пятью функциями, локализованными в каждой вершине: 1- смысл, 2– способ, 3 – знак, 4 – область, 5– функция. По аналогии с семантическими сетями вершины когнемы, по отношению к данным, можно определить следующим образом.

1. Смысл. Наименование свойства, значение которого представлено элементом данных.

2. Способ. Способ структуризации данных. В нашем случае можно рассматривать как наименование пустого узла.

3. Знак/Слово. Значение свойства, представленное элементом данных.

4. Область. Область структуризации данных. Наименование свойства субъекта, к которому относится элемент данных (габаритные размеры).

5. Функция. Сущность, к которой относится элемент данных.

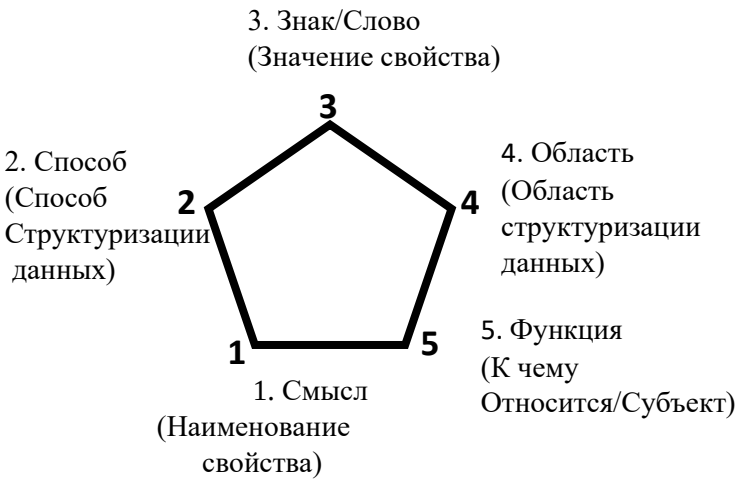


Рис. 2. Общая структура когнемы

В процессе построения семантической модели данных с использованием когнем вершины отдельных когнем, в соответствии с их спецификацией (рис. 2), соединяются друг с другом, семантизируемыми данными и элементами структуризации этих данных (рис. 1). Общая схема объединения когнем представлена на рис. 3.

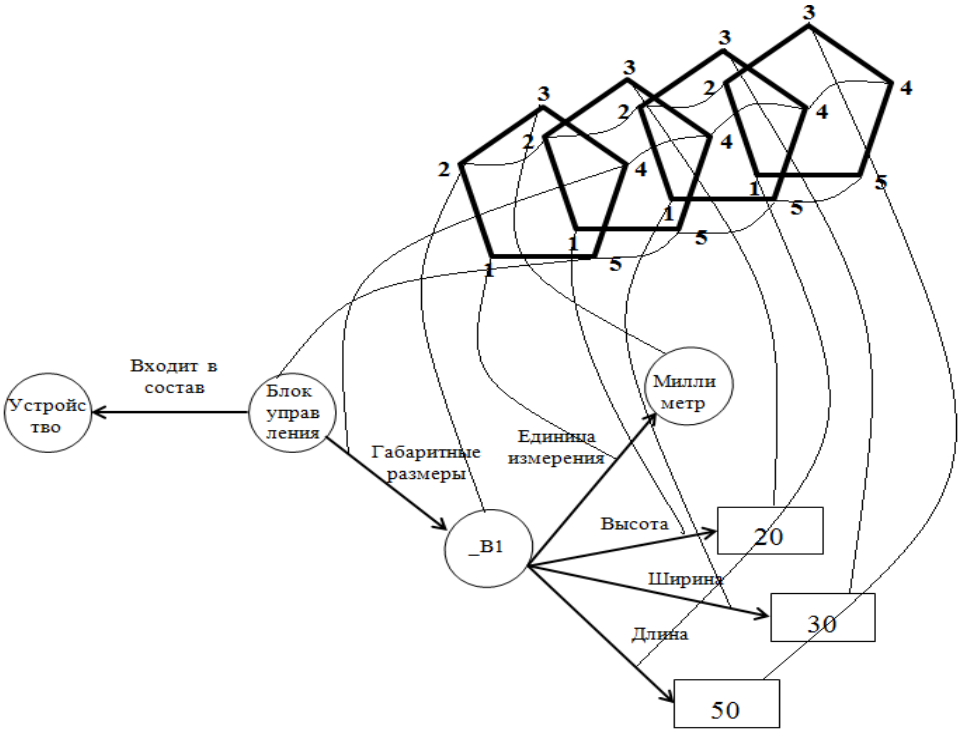


Рис.3. Общая схема объединения когнем

Окончательный вид результата семантизации данных с использованием когнем может быть представлен в следующем виде (рис. 4).

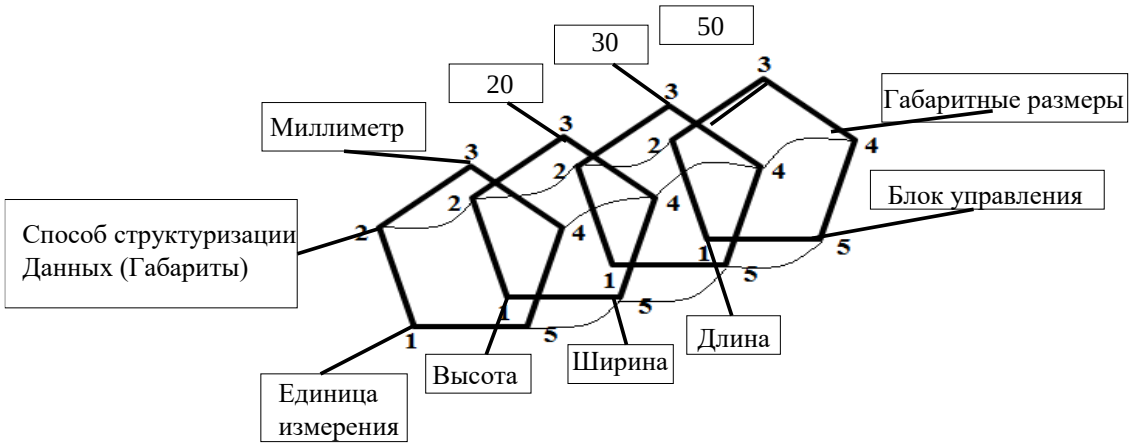


Рис. 4. Результат семантизации данных с использованием когнем

Таким образом, в данном случае, результат семантизации представляет собой совокупность четырех когнем, каждая из которых представляет собой единицу знания о высоте, о ширине, о длине и об единицах измерения этих данных, которые рассматриваются как габаритные размеры блока управления.

Использование когнем при семантизации данных открывает новые возможности для обработки и анализа информации, в частности можно получить количественные характеристики результатов семантизации. Такой подход позволяет интегрировать разнородные данные в единую семантическую модель. В условиях роста объемов информации когнемы могут оказаться достаточно эффективным инструментом для управления знаниями и обеспечения принятия обоснованных решений в различных областях науки и техники.

Список используемых источников

1. Муромцев Д. И. Онтологический инжиниринг знаний в системе Protégé. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2007. 62 с.

2. Когаловский М. Р. Метаданные в компьютерных системах. - Программирование, МАИК/Наука «Интерпериодика». 2013. Т. 39, № 4. С. 28-46.

3. John Hebeler, Matthew Fisher, Ryan Blace, Andrew Perez-Lopez. Semantic Web Programming. John Wiley & Sons, 2009. -648 с.

4. Гольдберг Й. Нейросетевые методы в обработке естественного языка / пер. с анг. А. А. Слинкина. М.: ДМК Пресс, 2019. 282 с.: ил.

5. Караулов Ю. Н. Элементарная единица знания в многомерной структуре языкового сознания // Человек. Сознание. Коммуникация. Интернет: Сб. научных трудов / Науч. ред. Л. Шипелевич. Варшава, 2006. С. 49–59.

6. Караулов Ю. Н., Филиппович Ю. Н., Романова Т. В., Черкасова Г. А. Информационная технология создания когнитивного тезауруса носителя русского языка и культуры: учебное пособие. М.; Нижний Новгород, 2013. 151 с.

DATA SEMANTICS

Gubin A., Litvinov V., Filippov F.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Methods of data semantics are considered. Special attention is paid to the issues of data semantics using horse. The proposed approach allows us to present the result of semantization as a set of interconnected units of elementary knowledge - cognition.

Key words: *data, data semantics, cognema*

УДК 378.14
ГРНТИ 14.35.09

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РАМКАХ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭСКИЗИРОВАНИЕ И МАКЕТИРОВАНИЕ»

Е. В. Гунина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Среди предлагаемых педагогических подходов проектная деятельность является популярной и результативной в работе со студентами. Основная цель проектной деятельности – актуализировать и использовать на практике полученные знания, максимально приблизить к реальным условиям выполняемые задания.

Для реализации проекта необходимы специальные инструменты управления, к которым относятся методы и основные принципы управления проектами. В статье рассматриваются возможности использования методов организации проектной деятельности и основные принципы управления проектом в рамках учебной дисциплины «Эскизирование и макетирование».

проектная деятельность, инструменты управления проектами

Традиционная и много лет существующая система высшего профессионального образования уже не может в полной мере удовлетворять всем требованиям современного общества, предъявляемым к специалисту с высшим образованием [1]. Для повышения конкурентоспособности на рынке труда современным выпускникам вузов недостаточно усвоения фундаментальных знаний по специальности, они должны уметь применять их на практике в быстро меняющихся условиях [2]. Среди предлагаемых педагогических подходов проектная деятельность является популярной и результативной в работе со студентами. Основная цель проектной деятельности - актуализировать и использовать на практике полученные знания, максимально приблизить к реальным условиям выполняемые задания.

Проектная деятельность, в отличие от других видов учебной деятельности, имеет ряд особенностей. Е. С. Полат, доктор педагогических наук, профессор, в своих трудах считает особо важным при организации работы над проектом наличие социально значимой проблемы и суть ее остается прежней - стимулировать интерес обучающихся к определенным проблемам, предполагающим владение определенной суммой знаний и через про-

ектную деятельность, предусматривающим решение этих проблем, умение практически применять полученные знания [3].

При использовании метода проектов в обучении в высшей школе обучающийся (студент) проходит несколько этапов работы над проектом [1]. Это говорит о том, что для выполнения проекта необходимы специальные инструменты управления. Инструменты должны быть заключены в единую систему – методологию управления проектами. Методология управления проектами – это стандарт ведения проектов от старта до завершения.

Необходимость применения управления проектами связано с рисками исполнения проекта, к которым следует отнести масштабность проекта, большой объем работы, большое количество участников проекта, а также большое количество взаимосвязей между участниками проекта. Методы управления проектами позволяют определить основные цели проекта и их обоснование, основные объемы и структуру проекта, подбор исполнителей.

Проекты, как правило, подразделяют на фазы, состав и содержание которых определяется потребностями управления и контроля. Фазы жизненного цикла выполняют в логической последовательности, имеющей начало и окончание, и используют входные данные для получения результатов. Для эффективного проектного менеджмента на протяжении всего его жизненного цикла, в рамках каждой фазы следует выполнить определенный набор действий. Фазы позволяют разделить проект на несколько обособленно управляемых элементов, совокупность которых составляет жизненный цикл проекта [4].

Методы управления проектами жизненного цикла следует разделить на 4 фазы. Первая фаза является разработкой концепции проекта в которое входит определение целей проекта. успешная и продуктивная работа над проектом начинается с правильной постановки проблемы или задачи. Проблема, решаемая при работе над проектом, должна быть реалистичной (и поэтому, мотивирующей) и должна иметь возможность разработки стратегии по ее решению. Кроме того, проблема должна быть актуальной и соответствовать роду будущей профессиональной деятельности обучающегося (студента) [5]. Мусихин И. А. в своей статье в качестве рекомендаций по организации проектной деятельности и формированию тем проектов выделяет обязательное условие при выборе базовой дисциплины следует обращать внимание на ее объем, перечень формируемых компетенций, а также учитывать знания, которые необходимы для ее освоения [6]. На первом этапе организации проекта также является определения потенциала студен-

тов в команде, активизации их деятельности и осознанного понимания конечного результата выполнения проекта. Для решения задач проекта и его реализации следует выбрать метод ведения и управления проектом. Обязательным условием является готовность субъектов образовательного процесса к реализации проекта как со стороны преподавателя, так и студентов. При выборе следует учитывать несколько факторов, особенно важные в студенческом коллективе, когда далеко не все участники команды готовы работать одинаково эффективно, а руководитель проекта оценивая его сложность не всегда точно может предсказать трудоемкость проекта и на каком этапе жизненного цикла.

Вторая фаза проекта является ключевой в подготовительном этапе всего проекта, он содержит деление на основные блоки, их последовательность и параллельность. При принятии решения создания проекта важным становиться проработка методов управления качеством, прогнозирование возможных рисков на всех этапах выполнения проекта и конечно формирование команды и ее структура.

Одним из факторов в формировании команды и ее готовности к созданию проекта, грамотное распределение матрицы ответственности в команде следует провести подготовительную работу в группе. В рамках дисциплины «Эскизирование и макетирование» студенты овладевают технологиями макетирования, приобретают навыки работы с инструментами и знакомятся с особенностями и свойствами материала, необходимыми для выполнения основной части проекта. На этом этапе студентам предлагается познакомиться с основными принципами формообразования и создание объемных форм (рис. 1). Преподаватель, в процессе работы со студентами, выявляет их основные умения в работе с материалом, определяет лидеров в коллективе, то что способствует формированию команды.

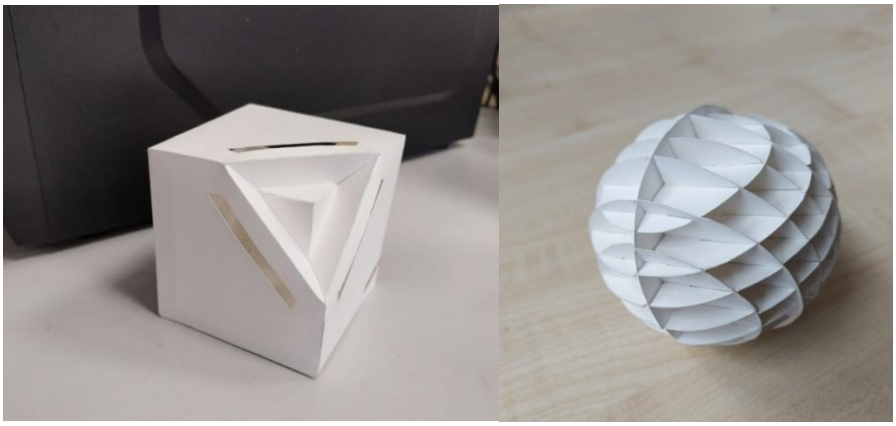


Рис. 1. Создание объемных форм на занятиях

Третьей фазой проекта является его выполнение и контроль. В ходе выполнения проекта управления рисками является важным для его возможного завершения. Риск – это негативное событие, которое может произойти, а может и не произойти. Риски нужно отличать от проблем: риск станет проблемой, только если негативное событие произойдет. Следует различать следующие риски: временные, бюджетные, риски изменения объемов работы, внешние риски. При сложных многоэтапных проектах существует такие риски, как зависимости, т.е. связи между двумя задачами в проекте, когда начало одной задачи зависит от завершения другой. Для управление сроками проекта предполагает определить сроки выполнения проекта и составить график его реализации. Это этап возможен только с расчетом времени выполнения каждой операции и их взаимосвязи. В процессе создания объемных объектов происходит четкое деление последовательности действий, возможности параллельности выполнения некоторых элементов. Это позволяет определить выбор метода Critical Path Method, «Метод критического пути», что помогает собрать все действия, которые нужно сделать в рамках проекта, оцениваете их длительность. Потом классифицировать их иерархию, взаимосвязь и последовательность действий. Преимуществом является максимально подробное планирование, что позволяет увидеть все задачи и порядок их выполнения. Четкая расстановка приоритетов – всегда известно, какая задача более первостепенная и важная. Минимизация рисков -– благодаря четким приоритетам больше уверенности, что задачи будут сделаны в срок и на них хватит ресурсов. Это метод позволяет качественно управлять командой проекта, а именно подвижная структура команды, необходимость быстрой реорганизации малых групп, усиление или перераспределение объектов выполнения проекта.

Четвертая фаза создания проекта является заключительной и представляет собой подведение итогов работы всех участников группы, анализ опыта выполнения данного проекта (полученных навыков в выполнении задания), разбор ошибок и достижений в управлении проектом. Мощнейший стимул в выполнении проекта является демонстрация своего результата, т.е. оценка выполненных работ, понимание завершенности процесса, удовлетворенность процессом обучения; получение опыта участия в команде (рис. 2).

Рис. 2. Демонстрация проекта

Использование метода проектов приближает процесс подготовки специалистов к реальной профессиональной деятельности, снимает проблему ограничения учебного времени, предоставляет возможности обучения студентов и освоения ими программы курсов в индивидуальном темпе, а в случае продуманной организации работы над проектом, наличия постоянного контроля и объективной оценки независимыми экспертами конечного проектного продукта существенно стимулирует учебную мотивацию студентов и способствует росту их профессиональной компетентности [4]. Однако при всех плюсах введение проектной деятельности существует множество минусов в реализации данной деятельности. Один из них – это сложное отслеживание и оценивание вклада каждого участника группового проекта, так как это требует разработки определенных подходов и методов [7]. Проектное обучение также требует значительных затрат времени, что становится проблемой. Следовательно, руководителю проекта требуется на начальном этапе продумать возможности в организации дополнительных занятий и самостоятельного выполнения части задач проекта. Такой подход позволит четко распланировать время и уменьшить количество времени на последних, заключительных этапах работы.

Учитывая все плюсы и минусы проектной деятельности ее надо развивать, максимально включать в процесс обучения. Только изучение теории управления проектами и личный опыт в работе со студентами, позволит грамотно, а главное с максимально положительными результатами организовать проектную работу.

Список используемых источников

1. Донская Е. Ю. Применение проектного обучения в высшей школе / Е. Ю. Донская // Мир науки. Педагогика и психология, 2023. Т. 11. № 3. URL: https://mir-nauki.com/PDF/13PDMN323.(дата обращения: 12.02.2025)

2. Коренькова М. С. Организация проектной деятельности в высшей школе / М. С. Коренькова, Л. П. Разбегаева // Актуальные проблемы высшей школы: Вестник Волгоградской академии МВД России 2017. № 4. С.123-127

3. Полат Е. С. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования // Иностранные языки в школе. № 2, 3. М., 2000. С. 28-32

4. Тетюкова Е. П. Проектное обучение – инновационный подход к организации учебного процесса в высших учебных заведениях РФ / Е. П. Тетюкова, Т. А. Белых // Физика. Технологии. Инновации: сборник материалов VI Международной молодежной научной конференции, посвященной 70-летию основания Физико-технологического института УрФУ (Екатеринбург, 20–24 мая 2019 г.). Екатеринбург: [УрФУ], 2019. С. 349-358.

5. Уракова Е.А. Особенности формирования проектной деятельности в профессиональном образовании / Е.А. Уракова, Д.М. Михайленко, А.Н. Сидоров // Проблемы современного педагогического образования. 2022. № 74-2. С. 223–225.

6. Мусихин И. А. Проектное обучение в вузе: организация и типичные ошибки // Актуальные вопросы образования: сборник материалов Международная научно-методическая конференция СГУГиТ. Новосибирск, 2021. С. 16-21

7. Зерщикова Т. А. О способах реализации метода проектов в вузе / Т.А. Зерщикова // Проблемы и перспективы развития образования: материалы междунар. науч. конф. (г. Пермь, апрель 2011 г.). Т. 2. С. 79–82.

ORGANIZATION OF PROJECT ACTIVITIES WITHIN THE FRAMEWORK OF THE ACADEMIC DISCIPLINE "SKETCHING AND PROTOTYPING"

Gunina E.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Among the proposed pedagogical approaches, project activity is popular and effective in working with students. The main goal of the project activity is to update and put into practice the knowledge gained, to bring the tasks performed as close as possible to the real conditions. To implement a project, special management tools are needed, which include methods and basic principles of project management. The article discusses the possibilities of using methods of organizing project activities and the basic principles of project management in the framework of the academic discipline "Sketching and prototyping".

Key words: *project activities, project management tools*

УДК 378.14
ГРНТИ 14.35.09

ТРЕБОВАНИЯ ЕСКД И ПРОСТАНОВКА РАЗМЕРОВ НА ЧЕРТЕЖАХ В ПРОГРАММЕ КОМПАС 3D

Е. В. Гунина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

В данной статье рассматриваются возможности программы Компас 3D в простановке размеров на чертежах в процессе изучения дисциплины инженерной и компьютерной графике. Одним из разделов изучения инженерной графики является правила простановки размеров на чертежах в соответствии с ГОСТ 2.307-2011. Предлагаются методические рекомендации, направленные на решение задач освоения обучающимися основных правил простановки размеров с учетом конструктивных особенностей детали и количества изображений на чертеже согласно требованиям ЕСКД.

требования ЕСКД, правила простановки размеров, конструктивные особенности детали, программа Компас 3D

В современных условиях освоение графических дисциплин является важной частью в формировании профессиональных компетенций. Новые компьютерные технологии предлагают подойти более гибко к методике преподавания дисциплины «Инженерная и компьютерная графика». Одним из наиболее распространенных инструментов является программа Компас 3D, он входит в состав семейства систем автоматизированного проектирования, которые поддерживают оформление конструкторской и проектной документации по стандартам ЕСКД. Работа в программе сокращает путь к освоению таких важных аспектов, как представление трехмерной модели по чертежу, перевод модели в чертеж. Используя возможности программы студенты достаточно легко осваивают раздел создания трехмерной модели, используют достаточно широкий набор инструментов для формирования сложных элементов модели. Студентам достаточно понятен функционал программы для перевода модели в ассоциативный чертеж.

Наибольшие трудности возникают у студентов при оформлении чертежа. Не понимание важности требований стандарта приводит к многочисленным ошибкам. Следует понимать, что освоение базовых знаний инженерной графики требует от обучающихся изучение основных требований оформления технической документации в соответствии с ЕСКД.

Одним из разделов изучения инженерной графики является правила простановки размеров на чертежах в соответствии с ГОСТ 2.307-2011. Программа Компас 3D имеет функционал для простановки линейных, радиальных и угловых размеров (рис. 1).

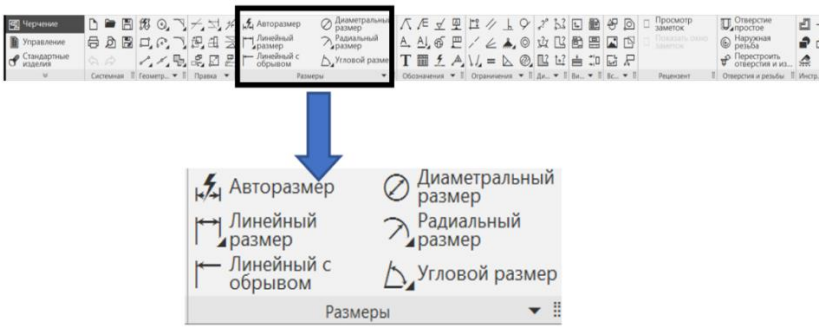


Рис. 1. Панель инструментов, раздел Размеры

Согласно ГОСТ 2.307-2011, размеры на чертежах должны наноситься в соответствии с общими требованиями:

– линейные размеры указываются в миллиметрах без обозначения единицы измерения;
– угловые размеры указываются в градусах, минутах и секундах с соответствующим обозначением;
– цифры на линейных размерах всегда располагаются над размерной линией;
– размеры всегда указывают истинные независимо от того, в каком масштабе выполнено изображение.

Эти правила внесены в функционал программы Компас 3D и соответствуют требованиям ЕСКД.

Однако, в программе не все задачи простановки размеров, требуемые для оформления чертежа, решаются автоматически, следовательно, обучающимся необходимо знать и использовать правила ЕСКД. Простое перечисление правил не дает положительные результаты, студенты не понимают, когда и в каких случаях эти правила используются и как должен выглядеть чертеж. Наиболее трудными являются вопросы, какие размеры следует наносить на конкретном чертеже, правильно выбрать способ простановки размеров, что зависит от многих факторов и в первую очередь от конструктивных особенностей изделия [1].

Для формирования целостной системы обучения нанесению размеров ряд авторов МГТУ им. Н. Э. Баумана предлагает сочетание логических подходов, например, разделить нанесение и контроль размеров на чертеже по

группам (габаритные, формообразующие, координирующие и размеры элементов); использование стандартных образцов нанесения размеров для конструктивных и технологических элементов [2]. Авторы ряда статей Ярославского государственного технического университета отмечают, что при разработке учебно-методических комплексов по техническим дисциплинам важным является создания дидактических материалов (рисунков, схем, таблиц и др.), позволяющих визуализировать изучаемый предмет [3].

В данной статье для решения проблемы освоения правил нанесения размеров предлагаются следующие методические рекомендации последовательного изучения темы. Они позволяют выработать примерный алгоритм действий при выполнении задания, не делать грубых ошибок и учиться самоконтролю проверки выполненных чертежей.

Предлагается распределить задания на модули по степени сложности не только самой детали, но и по количеству нанесения необходимых размеров. В *первый модуль* можно включить знакомство со следующей группой правил:

1. Размеры должны быть представлены минимальным количеством, но достаточным для изготовления и контроля изделия.

Для уменьшения количество размеров на чертеже следует обратить внимание на следующие пункты в стандарте:

– каждый размер должен быть указан только один раз;
– размеры нескольких одинаковых элементов изделия, как правило, наносят один раз с указанием на полке линии-выноски количества этих элементов;
– при нанесении размеров элементов, равномерно расположенных по окружности изделия (например, отверстий), вместо угловых размеров, определяющих взаимное расположение элементов, указывают только их количество.

2. Размерные линии предпочтительно наносить вне контура изображения.

3. Не допускается использование линии контура, осевые, центровые и выносные линии в качестве размерных.

В программе Компас 3D нет функции определения количества необходимых размеров для чертежа, следовательно, в данном случае студент обязан применить эти правила и проставить размеры на чертеже самостоятельно. Это предполагает знание требований ЕСКД. В качестве методических рекомендаций можно предложить выполнение простого задания

плоской детали (рис. 2) и познакомить с основными требованиями простановки размеров и основными возможностями работы в программе [4].

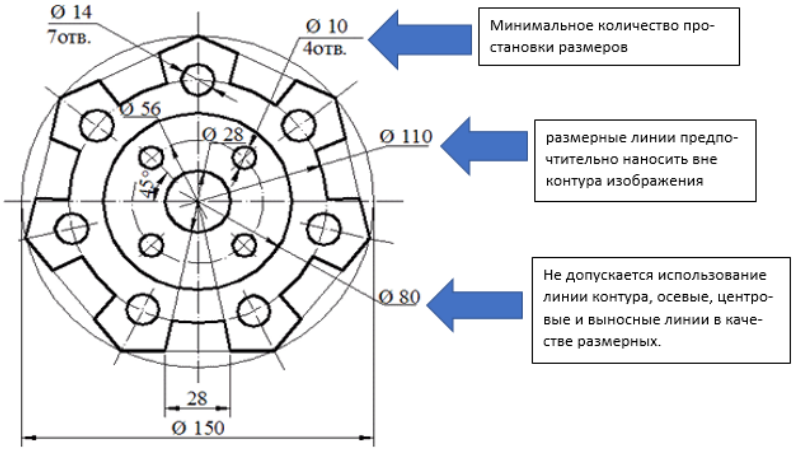


Рис. 2. Задание 1 модуля. Чертеж плоской детали

Второй модуль содержит правила, которые следует использовать на чертеже, имеющий большее количество изображений и в стандарте они звучат следующим образом.

1. Не допускается повторять размеры одного и того же элемента на разных изображениях;

2. Размеры в графическом документе не допускается наносить в виде замкнутой цепи, за исключением случаев, когда один из размеров указан как справочный;

3. Минимальные расстояния между параллельными размерными линиями должны быть 7 мм, а между размерной и линией контура – 10 мм;

4. Недопустимо пересечение размерных и выносных линий. Меньший размер располагается ближе к контуру детали (рис. 3);

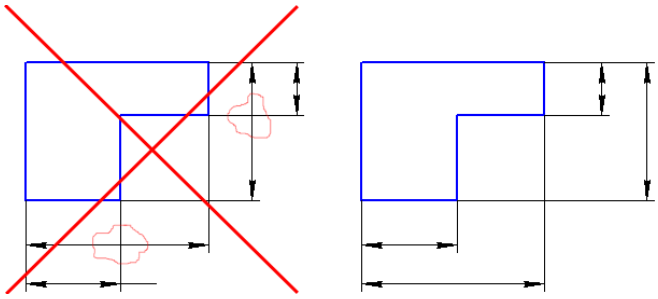


Рис. 3. Правила нанесения линейных размеров по величине

5. Размеры, относящиеся к одному и тому же конструктивному элементу (пазу, выступу, отверстию и т.д.), рекомендуется группировать в од-

ном месте, располагая их на том изображении, на котором геометрическая форма данного элемента показана наиболее полно;

6. Размерные числа линейных размеров при различных наклонах размерных линий располагают, как показано на рисунке 4.

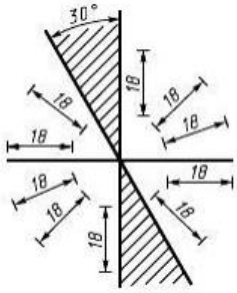


Рис. 4. Нанесение размеров на наклонных линиях

В качестве задания используется чертеж вала с изображением сечений на чертеже (рис. 5).

В этом задании обучающимся рекомендовано распределить необходимые размеры на чертеже, согласно перечисленным правилам. Обязательным условием является проверка положения линий секущих плоскостей и размеров чертежа.

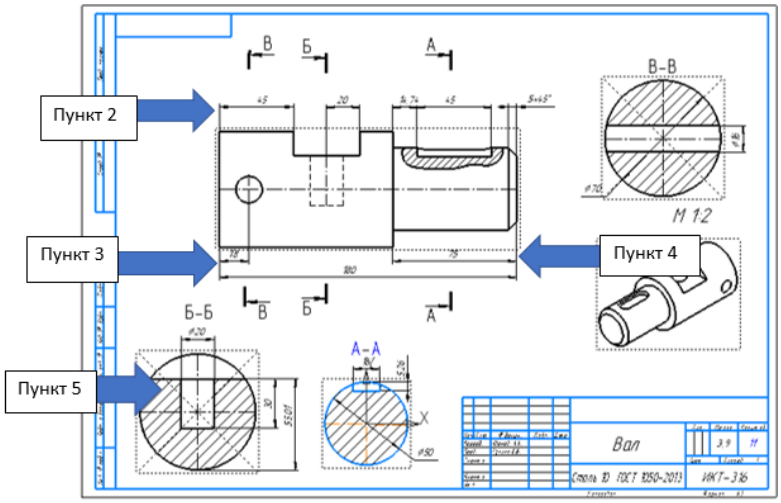


Рис. 5. Задание 2 модуля. Чертеж вала

В третьем модуле предполагается выполнение следующего задания – построение детали по двум видам и построение трех видов чертежа по созданной модели. На главном виде необходимо построить половину вида с половиной разреза (рис. 6). При простановке размеров используют следующие правила:

1. Размеры равномерно распределяют на всех видах на чертеже.

2. При соединении половины вида с половиной разреза на виде размеры проставляются следующим образом: наружные размеры наносят со стороны вида, внутренние со стороны разреза.

3. Если для нанесения размерного числа над размерной линией недостаточно места, то его наносят на продолжении размерной линии или на полки линии-выноски и выполняют наружные стрелки.

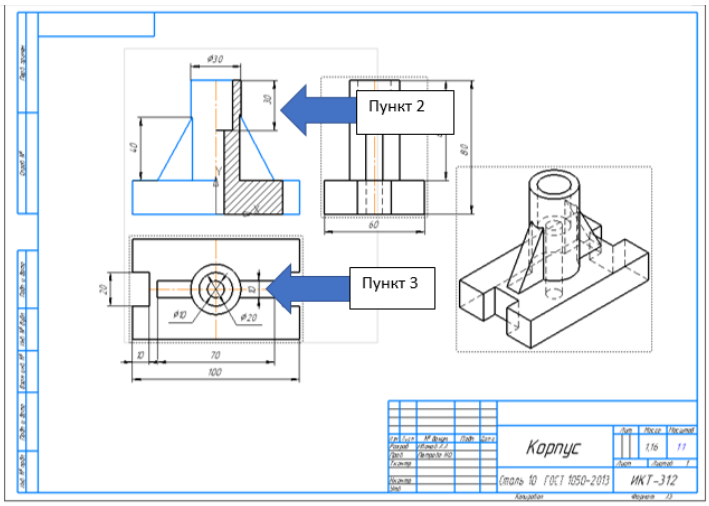


Рис. 6. Задание 3 модуля. Чертеж детали

Задания могут меняться и в соответствии с этим могут корректироваться модули. В каждом модуле студенты повторяют некоторые правила первых двух модулей, отмечают какие конкретно правила были использованы в данном случае. Каждый модуль обязательно завершается тестовым заданием. В тест могут входить как теоретические вопросы, так и задания содержащие изображения, в которых требуется найти ошибку или, завершить построение. Это позволяет закрепить полученные знания и пользоваться ими осознанно в процессе выполнения чертежа.

Таким образом, на основе изученной литературы и опыта работы можно сделать следующие выводы:

– применение компьютерных технологий в образовательном процессе повышает мотивацию к обучению, обеспечивает высокий уровень выполнения поставленных задач и дальнейшую эффективность профессиональной деятельности в условиях конкурентной среды.
– разработка заданий с учетом простановки размеров на чертеже по группам, объединенных в модули, позволит максимально быстро освоить данный раздел инженерной графики.

Список используемых источников

1. Станийчук А. В. Системная организация учебного процесса в преподавании дисциплины «инженерная и компьютерная графика // Научно-методический электронный журнал «Вестник АмГУ». 2022. № 96 (май). С. 103-106
2. Никольский В. В. Самоконтроль простановки размеров на чертеже / В. В. Никольский, Н. Н. Кирпичникова // Международный научный журнал «Символ науки» № 10-2, 2016. С. 66-70.
3. Исаев А. Н. Применение комплекса программного обеспечения КОМПАС-3D при разработке дидактического обеспечения технических дисциплин / А. Н Исаев., Е. А Страдина // Ярославский педагогический вестник, 2014. № 3. Том II. С. 149-152
4. Гунина Е. В. Особенности освоения способов моделирования в компас 3D - Барнаул / Е. В. Гунина, Л. А. Андреева, Т. А. Гусева., Л. А. Жукова // Вопросы науки. 2023. № 1. С. 11-16

ESCD REQUIREMENTS AND SIZING IN DRAWINGS IN THE COMPASS 3D PROGRAM

Gunina E.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article discusses the possibilities of the Compass 3D program in sizing drawings in the process of studying the discipline of engineering and computer graphics. One of the sections of the study of engineering graphics is the rules for sizing drawings in accordance with GOST 2.307-2011. Methodological recommendations are offered aimed at solving the problems of students mastering the basic rules of sizing, taking into account the design features of the part and the number of images in the drawing in accordance with the requirements of the ESCD.

Key words: *ESCD requirements, sizing rules, design features of the part, the Compass 3D program*

УДК 65.011.56
ГРНТИ 28.29.53

ИНФОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ КОМПАНИИ

А. Р. Денисов, В. Миридаштаки

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Современные предприятия сталкиваются с проблемами согласования стратегий, обеспечения поддержки бизнес-целей Информационной Технологии и разработки политик, ориентированных на рост. Архитектура предприятия предлагает структуру для интеграции бизнес-планирования и информационная технологии, но существующие инструменты часто не имеют возможностей оптимизации. В этом исследовании предлагается математическая модель для оптимизации портфелей информационная технология-проектов с учетом вероятности успеха, ценности заинтересованных сторон и стратегической согласованности. Была разработана Entity relationship – диаграмма для проектирования базы данных для управления проектами, изменениями и стратегическими целями. Предлагаемый подход улучшает согласованность с организационными целями, поддерживает цифровую трансформацию и способствует устойчивому росту.

ER модель, архитектура предприятия, математический модель, стратегического планирования

Современные предприятия сталкиваются со сложными проблемами стратегического планирования, такими как необходимость согласования различных стратегий, разрыв между ИТ-стратегией и бизнес-целями, отсутствие системных механизмов разработки политик. Эти проблемы усугубляются динамикой цифровой трансформации, где ИТ-инфраструктура становится ключевым драйвером конкурентных преимуществ, но ее развитие требует баланса между затратами, рисками и эффектами. [1, 2] Архитектура предприятия предлагает методологическую основу для согласования стратегий, интеграции бизнес- и ИТ-компонентов и управления изменениями. Однако существующие подходы часто ограничены отсутствием инструментов оптимизации, учитывающих множественные критерии эффективности проекта. [1, 3, 4, 5] Для решения этих проблем необходима математическая модель, объединяющая вероятности успеха, ценность изменений, интересы заинтересованных сторон и стратегические приоритеты, а также инфологическая модель, формализующая взаимосвязи между элементами системы управления развитием.

Математическая модель оптимизации портфеля проектов

При формировании оптимального портфеля проектов стратегического развития ИТ-инфраструктуры каждый проект описывается набором параметров: затратами ($З_i$) вероятностью успеха (R_i) и результативностью ($Рез_i$), которая включает ценность изменений ($Ц_i$), ключевые показатели эффективности (KPI_i) и мультикритериальные эффекты ($Эфф_i$). Целевая функция модели максимизирует совокупный эффект от реализации проектов с учетом их вероятности успеха:

$$\sum_{Pr_i \in Pr} C_i \cdot R_i \cdot ЭффЦ_i \rightarrow max, \quad (1)$$

Ограничения включают бюджет $\sum_{Pr_i \in Pr} C_i \cdot З_i \leq B$ и матрицу зависимостей проектов (d_{ij}), отражающую необходимость синхронизации изменений. Матрица зависимостей формализует связи между проектами, что позволяет избежать дублирования и обеспечить логическую последовательность внедрения. Практическая реализация модели в средах Python или *R* обеспечивает гибкость и масштабируемость, позволяя адаптировать ее под конкретные условия компании. Данный подход не только повышает прозрачность управления проектами, но и усиливает их согласованность со стратегическими целями, что критически важно в условиях цифровой трансформации.

ER модель

Для поддержки математической модели разработана инфологическая модель, представленная в виде ER-диаграммы. Она интегрирует ключевые сущности управления стратегическим развитием: Проекты, Изменения, Стратегические цели, Заинтересованные лица, KPI, Эффекты и Стратегические документы.

Ключевым элементом управления ИТ-инфраструктурой является управление ИТ-изменениями. Это может быть связано с введением новых объектов данных, добавлением новых элементов технической инфраструктуры (серверов, вычислительных сетей и т.п.) или внедрением ИТ-служб (сервисов), реализующих необходимые процессы обработки. При этом одно изменение может содержать несколько внедряемых объектов, также один объект может быть предусмотрен несколькими (альтернативными) изменениями. Структура данных для описания изменений приведена на рис. 1.

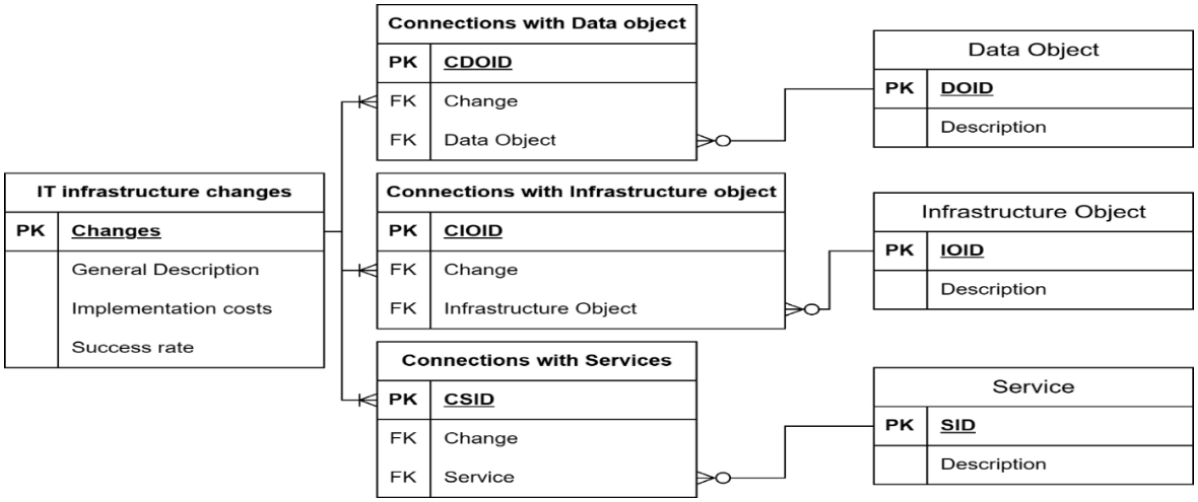


Рис. 1. Структура данных для описания изменений

При реализации изменений важно учитывать интересы (проблемы) заинтересованных лиц, которые работают в различных подразделениях и могут исполнять различные роли. При решении задач ранжирования изменений важно оценивать значимость как самих заинтересованных лиц, так и стоящих перед ними проблем. Структура данных для описания заинтересованных лиц приведена на рис. 2.

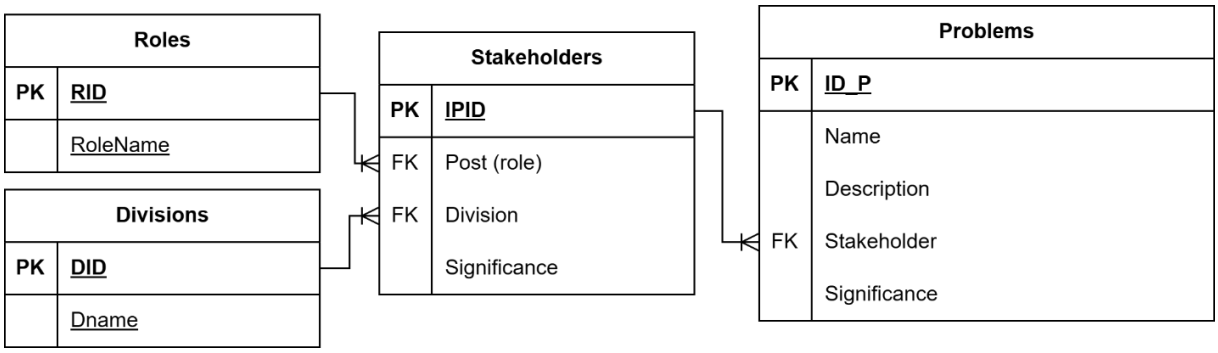


Рис. 2. Структура данных для описания заинтересованных лиц

Также при определении изменений важно учитывать, как они влияют на достижение стратегических целей, которые прописаны в различного рода стратегических документах. У каждого документа может быть несколько авторов, в качестве которых выступают заинтересованные лица организации. При решении задач ранжирования изменений важно оценивать значимость как стратегических целей, так и формулирующих их стратегических документов. Структура данных для описания стратегических целей приведена на рис. 3.

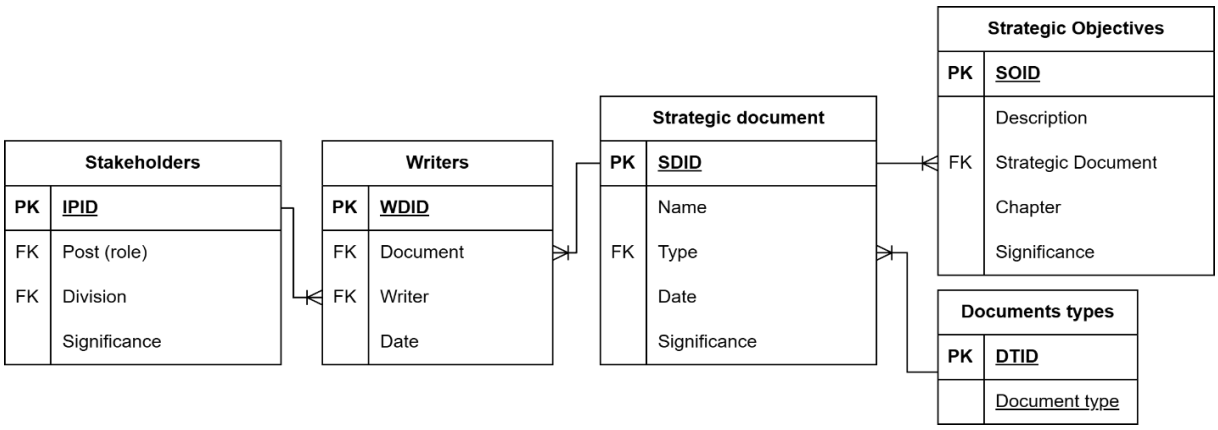


Рис. 3. Структура данных для описания стратегических целей

Реализация ИТ-изменений должна привести к положительным эффектам в деятельности компании, которые как могут быть представлены как в формате ключевых показателей эффективности (KPI), так и других формах. Эффекты связаны со стратегическими целями и имеют иерархическую классификацию. При реализации изменений для эффектов задаются требования на величину показателя после внедрения изменения. Структура данных для описания достигаемых эффектов приведена на рис. 4.

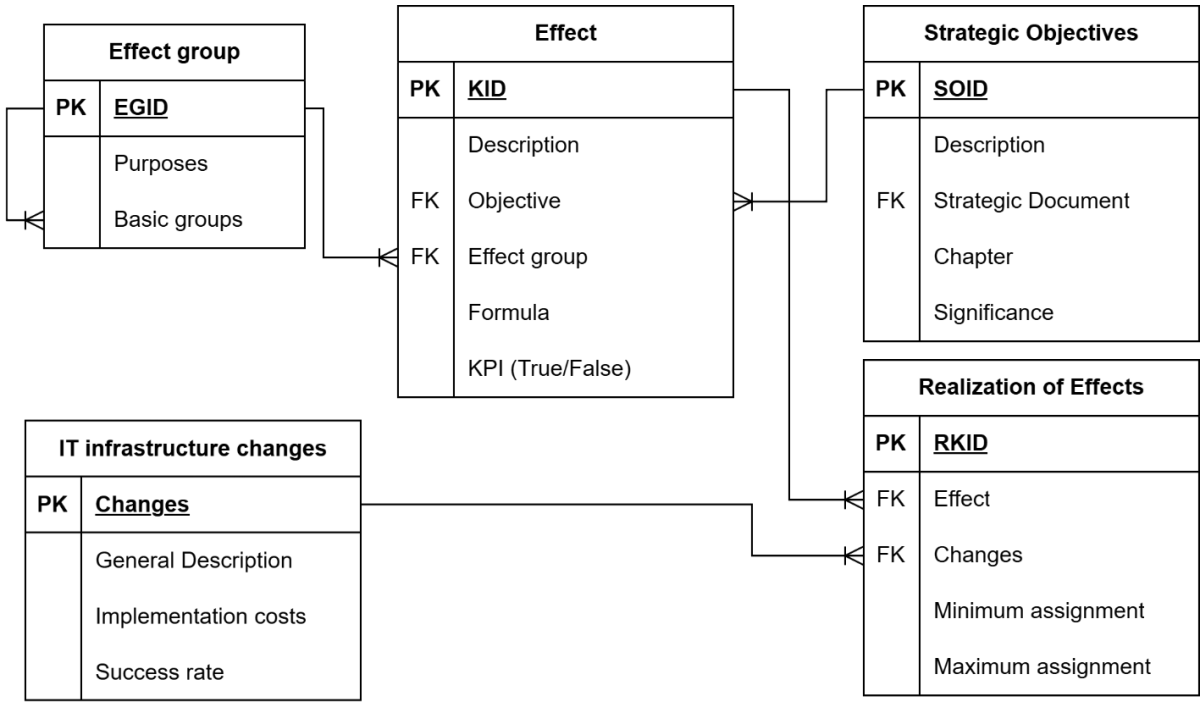


Рис. 4. Структура данных для описания достигаемых эффектов

При реализации одного или нескольких изменений создаются проекты стратегического развития. При этом необходимо учитывать первоочередность проектов с точки зрения их реализации, что тоже необходимо учесть в структуре данных (рис. 5).

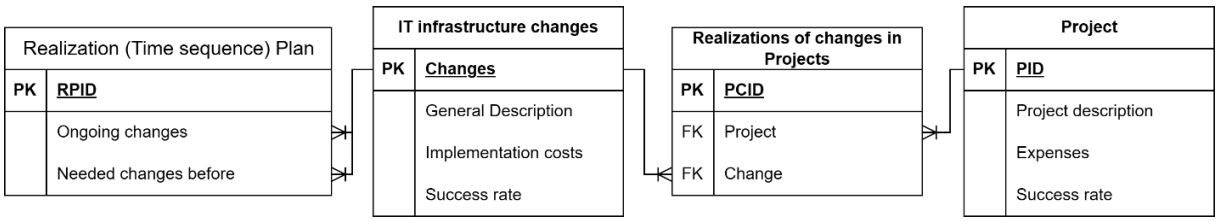


Рис. 5. Первоочередность проектов с точки зрения их реализации

При описании изменений в нотации Archimate [6] предлагается использовать программное обеспечение Archi [7], где модели хранятся в открытом xml формате. Это позволяет читать данные из файлов и объединять их в случае необходимости получения новых вариантов архитектуры с учетом проводимых изменений. Сами модели должны сохраняться в системе с учетом их статуса (Планируется/Внедряется/Внедрен). Блоки также должны быть сохранены в системе и привязаны к проводимым изменениям. При этом выявление связей между двумя моделями, которые необходимы для определения временной последовательности реализуемых проектов будет осуществляться автоматически. Структура данных для описания моделей Archi [7] приведена на рис. 6.

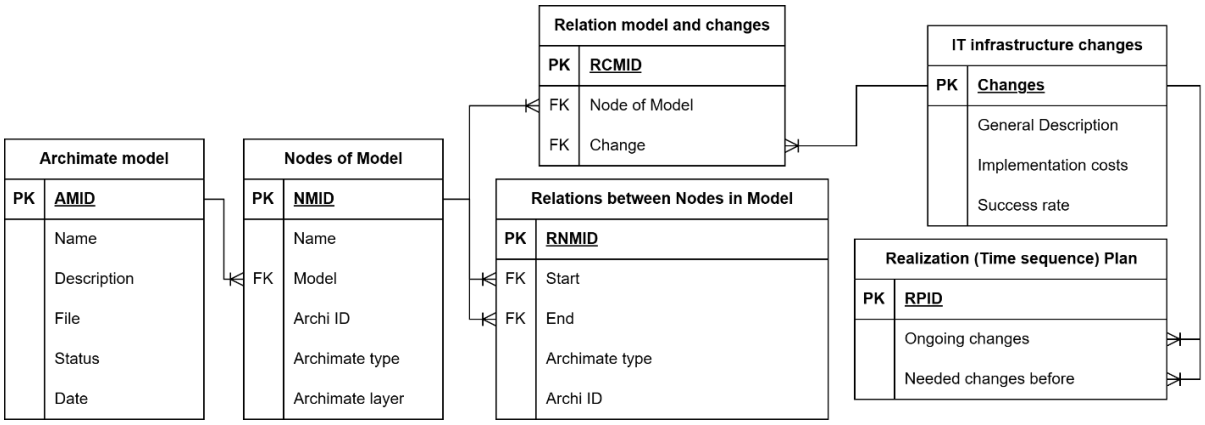


Рис. 6. Структура данных для описания моделей Archi [7]

Предложенные математическая и инфологическая модели формируют целостную систему управления стратегическим развитием ИТ-инфраструктуры компании. Математическая модель оптимизации портфеля проектов обеспечивает баланс между стратегическими приоритетами, бюджетными ограничениями и интересами стейкхолдеров, минимизируя риски и максимизируя ценность изменений. ER-диаграмма, в свою очередь, служит инструментом визуализации и управления сложными взаимосвязями между проектами, изменениями и бизнес-целями. Внедрение этих моделей способствует не только цифровой трансформации, но и создает основу для непрерывного улучшения, позволяя компании адаптироваться к изменениям рынка и технологий. Практическая

реализация в современных программных средах подтверждает жизнеспособность подхода, открывая новые возможности для эффективного стратегического управления в условиях цифровой экономики.

Список используемых источников

1. Bobokhujaev S. I., Otakuziyeva Z. M. Methods of Digitalizing the Enterprises Activities in Uzbekistan // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2020. С. 1-3. DOI: 10.1109/ICISCT50599.2020.9351430.

2. Gigova T., Nikolova-Alexieva V., Valeva K. Digital Transformation of Bulgarian Enterprises in the Conditions of Industry 4.0 // International Conference on Creative Business for Smart and Sustainable Growth (CREBUS), Sandanski, Bulgaria, 2019. С. 1-5. DOI: 10.1109/CREBUS.2019.8840102.

3. Hafsi M. and Assar S. What Enterprise Architecture Can Bring for Digital Transformation: An Exploratory Study // IEEE 18th Conference on Business Informatics (CBI), Paris, France, 2016. С. 83-89. DOI: 10.1109/CBI.2016.55.

4. Tagiltseva J. A., Drozdov N. A., Kuzina E. L., Kuzina M. A., Vasilenko M. A. The Digital Integrated Environmental Management System in the Electrical Industry // International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS), Yaroslavl, Russia, 2020. С. 32-37. DOI: 10.1109/ITQMIS51053.2020.9322862.

5. Marolt M., Pucihar A., Lenart G., Vidmar D. Digital transformation scoreboard – Case of Slovenia and Croatia // 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), Opatija, Croatia, 2019. С. 1380-1385. DOI: 10.23919/MIPRO.2019.8757038.

6. The Open Group Architecture Framework (TOGAF 10) // 2022. URL: https://www.opengroup.org/togaf (дата обращения 15.03.2025).

7. Archi – Open Source ArchiMate Modelling // URL: https://www.archimatetool.com/ (дата обращения 15.03.2025).

INFOLOGICAL MODEL OF THE COMPANY'S STRATEGIC DEVELOPMENT MANAGEMENT SYSTEM

Denisov A., Miridashtaki V.
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

Modern enterprises face challenges in aligning strategies, ensuring IT supports business goals, and developing growth-oriented policies. Enterprise architecture (EA) offers a framework for integrating business planning and IT, but existing tools often lack optimization capabilities. This study proposes a mathematical model to optimize IT project portfolios, considering success probabilities, stakeholder value, and strategic alignment. An ER diagram was developed to design a database for managing projects, changes, and strategic objectives. The proposed approach enhances alignment with organizational goals, supports digital transformation, and fosters sustainable growth.

Key words: *ER model, enterprise architecture, mathematical model, strategic planning*

УДК 004.032.26
ГРНТИ 28.23.37

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ РЕБЕНКА ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА БЕЗОПАСНОМУ ПОВЕДЕНИЮ НА УЛИЦЕ

Ю. В. Денисова, Г. О. Николаева

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Развитие нейронных сетей в настоящее время переживает активный рост, благодаря чему применять их становится возможным в самых различных областях. Например, такие сети, как ChatGPT и им подобные, могут помочь в обучении детей дошкольного возраста правилам безопасности на улице. Первую помощь в таком деле могут оказать, например, книги, однако, в них чаще всего содержатся более общие действия и рекомендации и не хватает конкретных примеров опасных ситуаций, которые могут произойти с ребенком. Дополнить обучение в таком случае могут нейронные сети, созданные для генерации идей в формате текста и имеющие гораздо более широкие возможности. В таком случае нейронная сеть «придумает» ситуацию, а родители вместе с ребенком ее разбирают, объясняя, на что обращать внимание, чего остерегаться и как поступать в конкретном случае. Это поможет повысить уровень образованности и безопасности ребенка.

нейронные сети, искусственный интеллект, безопасность, обучение, ChatGPT

В настоящее время нейронные сети применяются в разных сферах, в том числе и в обучении. В статье предлагается вариант применения нейронных сетей при обучении детей дошкольного возраста для обучения безопасному поведению на улице.

Выбор возраста обусловлен тем, что именно в этом возрасте целесообразно проводить такое обучение, так как ребенок уже достаточно взрослый, чтобы воспринимать информацию. При этом у него появляется бóльшая свобода действий, маленьким ребенком руководит сильное желание исследовать мир, тогда как он не осознает возможных опасностей.

Большинство детей 3−7 лет уже готовы к подробной информации о безопасности дома и на улице. К этому моменту они знают основные правила, например, понятия «нет», «нельзя» и «опасно» [1].

Однако если руководствоваться в этом возрасте только этими понятиями, то в ребенке возникнет протест, он захочет попробовать опровергнуть родительский запрет и посмотреть, что из этого выйдет. Поэтому ему надо понимать, что именно стоит за такими запретами. С другой стороны, важно не только предостерегать, а объяснять причины и последствия, чтобы ребенок не просто боялся, но и умел ориентироваться в той или иной ситуации.

Основным источником информации для родителей, которые будут проводить с ребенком беседы, являются книги. Однако при всех их достоинствах можно сразу выделить основной их недостаток – везде повторяющаяся теория и малое количество примеров «ситуаций», которые можно с ребенком разобрать. При теоретических, обобщенных объяснениях маленький ребенок не сможет их запомнить и главное, понять. Гораздо лучше отрабатывать правила безопасности на практике с помощью настольных и ролевых игр.

Для «генерации» идей и ситуаций для таких игр подойдут нейронные сети, которые решают задачу языкового моделирования.

Однако прежде, чем перейти к самому обучению, необходимо очертить спектр возможных опасных ситуаций. Некоторые из них имеют свою специфику, поэтому могут понадобиться разные варианты работы с нейронными сетями далее.

Для начала необходимо сделать классификацию возможных опасных ситуаций по их причине. Это может быть ситуация с участием постороннего человека, люков и коммуникаций, бесхозных предметов, животных, сезонные опасные ситуации (гололед, падение льда с крыш домов), ДТП, чрезвычайные ситуации, ситуации, связанные с утерей ключей, захлопыванием дверей, потеря ребенка и так далее. Часть ситуаций можно опустить, так как они не требуют большой вариации, например, сезонные. Достаточно объяснить ребенку, что не стоит ходить рядом с домами, чтобы не падал лед и так далее.

Есть и те, которые заслуживают более пристального внимания, например, участие незнакомого человека, потеря ребенка или ДТП.

Для примера можно разобрать одну из самых частых опасностей – это участие незнакомого человека. Угроза в том, что незнакомый человек может

использовать различные приемы, манипулируя ребенком и заставляя его уйти с ним.

Из этой ситуации следует уточнение по поводу того, как отправлять запрос. От этого зависит то, насколько полные и разнообразные примеры будет предлагать нейросеть. Для эксперимента будет использоваться русскоязычная версия ChatGPT. Это современная языковая модель, которая кардинально изменила подходы к обработке естественного языка, создавая текст с учетом контекста и связности [2].

Для начала стоит оговорить более общие правила. Необходимо разбивать запрос на несколько частей, формулируя границы запроса и двигаться от общего к частному, максимально подробно описывая задачу, иначе на выходе будет обобщенный водянистый ответ без какой-либо конкретики. Чтобы сфокусировать внимание нейросети на самых важных деталях, можно выделять их квадратными скобками. Помимо этого, можно указывать контекст, примеры, что повысит точность и релевантность ответов. Это одна из проблем продуктивного использования нейронных сетей, ведь даже среди опытных пользователей высокая степень неэффективного использования подобных инструментов. Более того, результаты работы с ИИ зависит от того, как люди решают использовать модель, и от их личных обстоятельств [3].

Далее необходимо попросить нейросеть вывести не просто пример, а подробный сценарий развития событий, чтобы с ребенком в дальнейшем можно было обсудить каждый этап происходящего; а также способы, как можно избежать негативных последствий.

В таблице 1 приведен пример «неудачного» и «удачного» запросов, и, как следствие, соответствующих ответов. В первом случае пример довольно размытый, поэтому его можно обозначить как «неудачный запрос и ответ», тогда как слова «подробный сценарий» вынуждает нейронную сеть поэтапно расписать ситуацию, что упрощает разговор с ребенком и превращение этого сценария в ролевую игру.

ТАБЛИЦА 1. Варианты запросов к ChatGPT и ответы нейронной сети на них

	Запрос	Ответ
Пример «неудачного «запроса	«Придумай опасную ситуацию с незнакомцем и ребенком на улице»	Если ребенок заговорит с незнакомцем на улице, это может привести к различным опасным ситуациям. Например: Попытка увести ребенка: Незнакомец может попытаться убедить ребенка пойти с ним, предложив что-то привлекательное, например, игрушку или сладости. Незнакомец может предложить помощь, например, сказать, что его родители просят ребенка подойти к нему, чтобы он показал дорогу или передал сообщение. Незнакомец может попытаться вызвать у ребенка жалость, рассказывая вымышленную историю о том, что он потерялся или ему нужна помощь. Незнакомец может запугивать ребенка, говоря, что он в опасности, и только он может помочь. Каждая из этих ситуаций может быть потенциально опасной
Пример «удачного» запроса	«Придумай [подробный сценарий] опасной ситуации, при которой взрослый человек может увести маленького ребенка в небезопасное место»	«Сценарий: "Ложный друг" Обстановка: Вы находитесь с вашим 6-летним ребенком в оживленном торговом центре. Ребенок увлечен выбором игрушек в магазине, а вы находитесь рядом, но не слишком близко, чтобы дать ему немного свободы. Ситуация: Подход незнакомца: Вдруг к вашему ребенку подходит незнакомый мужчина (примерно 30-40 лет), одетый в обычную одежду. Он выглядит дружелюбно и улыбается. Мужчина начинает разговор с вашим ребенком, спрашивая его, какую игрушку он выбирает. Создание доверия: Незнакомец говорит, что у него есть племянник такого же возраста, и он тоже любит играть с такими игрушками. Он начинает рассказывать истории о своем племяннике, чтобы создать доверительную атмосферу.

	Запрос	Ответ
		Предложение помощи: Затем мужчина предлагает вашему ребенку помочь выбрать игрушку и говорит, что у него есть еще много интересных вещей в своем автомобиле. Он может сказать что-то вроде: "У меня есть классные машинки! Пойдем посмотрим!" Манипуляция: Если ребенок начинает колебаться или отказываться идти с ним, незнакомец может попытаться манипулировать им, говоря: "Не бойся! Я просто хочу показать тебе что-то интересное. Твоя мама не против, если ты немного поиграешь!" Увод ребенка: Если ребенок все же решит пойти с незнакомцем, тот может взять его за руку и начать вести к выходу из магазина или к парковке»

Из приведенного выше примера видно, что ИИ способен сгенерировать подробную ситуацию, разбивая ее на этапы и подробное описание каждого этапа. Это можно использовать как сценарий ролевой игры, в которой родитель будет играть роль незнакомца, попутно объясняя ребенку на каждом этапе опасность его действий.

Более того, нейронная сеть дает советы, как избежать такой ситуации, например, «установите кодовое слово или фразу для вашей семьи. Если кто-то другой попытается забрать ребенка (даже если это будет знакомый), он должен спросить об этом кодовом слове».

Таким образом, ChatGPT может предоставить различные подробные сценарии, которые впоследствии можно использовать как теоретический материал. Это позволяет использовать ИИ, в частности, ChatGPT, в обучении детей дошкольного возраста безопасному поведению на улице.

Список используемых источников

1. Ван дер Занде А. Гид по детской безопасности для родителей дошкольников: пер. с англ. Ростов-на-Дону: Феникс, 2024. 202 с.

2. Roumeliotis K. I., Tselikas N. D ChatGPT and Open-AI Models: A Preliminary Review // Future Internet. 2023. N 15(6). C. 192-216.

3. Phang J, Lampe M., Ahmad L, Agarwal S. Investigating Affective Use and Emotional Well-being on ChatGPT // OpenAI. 2025. C.1-57. URL: https://cdn.openai.com/papers/15987609-5f71-433c-9972-e91131f399a1/openai-affective-use-study.pdf (дата обращения 24.03.2025).

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры ИУС СПбГУТ, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником Ф. В. Филипповым.

USING NEURAL NETWORKS TO TEACH PRESCHOOL CHILDREN SAFE BEHAVIOR ON THE STREET

Denisova Y., Nikolaeva G.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The development of neural networks is currently undergoing rapid growth, making it possible to apply them to a wide variety of applications. For example, networks such as ChatGPT and similar networks can help to teach pre-school children about street safety. Books, for example, can be an initial help, but they often contain more general actions and recommendations and lack concrete examples of dangerous situations that can happen to a child. Neural networks, which are designed to generate ideas in text format and have much broader capabilities, can supplement training. In this case, the neural network will "invent" a situation, and the parents and the child will analyze it together, explaining what to pay attention to, what to watch out for, and how to act in a particular case. This will help to increase the level of education and safety of the child.

Key words: *neural networks, artificial intelligence, security, learning, ChatGPT*

УДК 004.032.26
ГРНТИ 28.23.15

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Ю. В. Денисова, Г. О. Николаева

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Распространение технологий распознавания изображений ставит задачу повысить точность результата при помощи различных методов. На основе анализа научных публикаций, посвященных нейронным сетям, в задачах распознавания изображений, определены основные методы использующиеся для увеличения точности при выполнении задачи. Обобщены результаты исследований различных методов улучшения точности распознавания графических образов с помощью нейронных сетей.

нейронные сети, сверточные нейронные сети, распознавание изображений

Распознавание изображений всегда будоражило умы ученых. Еще в 1943 г. американский нейропсихолог и один из основателей кибернетики Уоррен Мак-Каллок совместно со своим другом нейролингвистом и математиком Уолтером Питтсом в статье «Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности» предложили математическую модель искусственного нейрона и сети, состоящей из таких нейронов, то есть ввели понятие искусственной нейронной сети (ИНС).

В 1998 году Лекун использовал алгоритм BP для обучения сети LeNet5, включая слой свертки, уровень пула и полносвязный уровень, что ознаменовало настоящее появление CNN. Он достиг точности 99,2 % для распознавания рукописных цифр [1].

В 2015 г. выиграла конкурс ILSVRC глубокая остаточная сеть ResNet, разработанная Хэ Каймином для распознавания изображений, которая решала основную проблему глубины сети CNN.

Так как CNN используют те же механизмы для обнаружения форм и текстур, что и человеческий мозг, они стали практически идеальным инструментом для распознавания и классификации изображений. Они могут выполнять классификацию изображений с высокой точностью и эффективностью. Однако все еще существуют проблемы и ограничения, которые мо-

гут повлиять на производительность CNN: такие как переобучение, качество данных и сложность модели. Некоторые из этих проблем:

– точка обзора – в зависимости от точки обзора, изображение может выглядеть по-разному;
– изменение масштаба – изменение соотношения размеров изображения также вызовут изменения в данных;
– деформация – форма многих объектов не статична;
– окклюзия – распознаваемый объект может быть виден лишь частично;
– освещение – изменение окружающего освещения также окажут большое влияние на изображение объекта.
– задний план – если объект и фон имеют очень похожие цвета и текстуры, их будет трудно идентифицировать.
– видовая изменчивость – один и тот же вид может иметь совершенно разную морфологию.

Рассмотрим несколько методов повышения точности нейронных сетей при обработке графической информации.

Использование дополнительных данных

Использование дополнительных данных – это, несомненно, самое простое и очевидное решение, ведь эффективность модели глубокого обучения зависит от передаваемых данных. Дополнение данных – это метод, который применяет преобразования к исходным изображениям, такие как переворачивание, вращение, обрезка, масштабирование или изменение яркости и контрастности. Благодаря использованию дополнительных данных при обучении мы получаем большую вариативность признаков. Это позволяет обучить сеть лучше обобщать новую графическую информацию и снизить риск переобучения. В качестве дополнительных данных можно использовать уже существующие, но преобразованные при помощи других библиотек изображения.

Выбор оптимальной архитектуры CNN

Модели CNN включают в себя множество типов слоев, например сверточные, объединяющие, активационные, исключающие или полносвязные слои. Разные архитектуры могут подходить и создавались для разных задач и наборов данных. Среди них нет какой-то универсальной, которая хорошо работает как на медицинских данных, так и на данных с камер видеонаблю-

дения. Но есть некоторые общие рекомендации, например, использование слоев исключения для случайного исключения некоторых нейронов и предотвращения совместной адаптации. Для извлечения большего количества признаков использовать большее количество сверточных слоев, использование слоев объединения для уменьшения пространственных измерений и избежания переобучения. За частую используются уже предварительно обученные модели, такие как ResNet или VGG, которые были обучены на больших наборах данных и достигли высокой точности в своих задачах.

Добавление большего количества слоев

Для более глубокого изучения признаков в наборе данных можно добавить большее количество слоев. Это позволит выявить малейшие различия в изображениях, которые человек может не заметить [2].

Для сложных задач, таких как различение пород кошек и собак или классификация рентгеновских снимков, имеет смысл добавить больше слоев, поскольку модель сможет изучить нюансы, которые отличают пуделя от бишон-фризе, а на рентген патологии.

Для простых задач, таких как классификация животных от автомобилей, подойдет простая модель, состоящая всего из нескольких слоев.

Увеличение количества тренировочных раундов

Эпоха – это, то сколько раз набор данных проходит через нейронную сеть. Увеличение эпох имеет смысл только, если в наборе данных слишком большой объем. Но бесконечное увеличение эпох неэффективно потому, что в конечном итоге модель достигает точки, когда точность не повышает, но при этом потребляется больше ресурсов.

Трансферное обучение

В качестве отправной точки для большинства задач обработки естественного языка и компьютерного зрения можно использовать предварительно обученные модели, например YOLO[3] и ResNet. Эти модели уже хорошо обучены и при необходимости их можно настроить и до обучить под конкретную задачу.

Трансферное обучение может повысить точность модели примерно на 50–90 % [4].

Настройка гиперпараметров

Гиперпараметры управляют размерами пакетов, скорость обучения, количеством эпох, функцией потерь или оптимизатором в процессе обучения сети. Они также влияют на стабильность, скорость и точность.

Процесс настройки сложен и требует учитывать множество возможных комбинаций и компромиссов для поиска оптимальных значений, которые позволят минимизировать потери и максимизировать точность модели.

Использование методов регуляризации

Методы регуляризации позволяют которые уменьшить сложность модели и предотвратить ее переобучение. Из-за того, что модель слишком хорошо подходит к обучающим данным, она не не может обобщить новые данные. Методы регуляризации могут помочь модели изучить более надежные и общие признаки, которые могут повысить точность на новых данных. Наиболее распространенные методы регуляризации – это регуляризация L1 и L2. Они добавляют штрафной член к функции потерь на основе величины весов. Метод исключения, позволяет случайным образом исключает некоторые нейроны во время обучения. Пакетная нормализация нормализует входы каждого слоя для уменьшения внутреннего ковариационного сдвига и повышения скорости обучения.

Регулировка скорости обучения

Соответствующая скорость обучения может уменьшить время, необходимое для сходимости модели и повысить точность проверки. Можно попробовать использовать стратегии снижения скорости обучения, такие как экспоненциальное затухание, косинусный отжиг и т.д. Адаптивная скорость обучения подразумевает под собой автоматическую настройку скорости обучения в зависимости от производительности модели. Распространенные методы адаптивной скорости обучения – Adam, Adagrad, RMSprop, Adadelta.

Пакетная нормализация

Пакетная нормализация может ускорить процесс обучения модели и повысить точность проверки. Нормализуя данные каждой партии, можно уменьшить внутренний ковариатный сдвиг и улучшить стабильность и способность к обобщению модели.

Ансамблевое обучение

Ансамблевое обучение -– это передовая методика машинного обучения, которая использует возможности нескольких алгоритмов или моделей обучения для повышения общей производительности, точности и стабильности. Основополагающий принцип ансамблевого обучения основан на концепции «Мудрости толпы», которая утверждает, что коллективные решения, принятые путем объединения знаний и опыта нескольких людей, с большей вероятностью дадут точные результаты, чем прогнозы, сделанные отдельными участниками.

В заключении отметим, что использование искусственных нейронных сетей для задач распознавания графических изображений остается перспективной темой для научных изысканий, благодаря широкой области применения начиная от диагностики в медицине и заканчивая контролем за соблюдением правил на дороге.

Список используемых источников

1. LeCun Y., Boser B., Denker J. S., Henderson D., Howard R. E., Hubbard W. and Jackel L. D.: Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition, Neural Computation, 1(4):541-551, Winter 1989.

2. Xiaoyue Jiang. Deep Learning in Object Detection and Recognition. // Xiaoyue Jiang, Abdenour Hadid, Yanwei Pang, Eric Granger, Xiaoyi Feng. Springer. 2020. Nov. C. 240.

3. Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, 2016 // arXiv: открытый архив научных статей. URL: https://arxiv.org/pdf/1506.02640 (дата обращения 20.12.2024).

4. NVIDIA Transfer Learning Toolkit for Intelligent Video Analytics (IVA), 2019 // Nvidia blog URL: https://www.nvidia.com/content/dam/en-zz/en_sg/ai-innovation-day-2019/assets/pdf/9_NVIDIA-Transfer-Learning-Toolkit-for-Intelligent-Video-Analytics.pdf (дата обращения 20.12.2024).

Статья представлена научным руководителем, доцентом кафедры ИУС СПбГУТ, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником Ф. В. Филипповым.

METHODS OF INCREASING THE ACCURACY OF NEURAL NETWORKS IN PROCESSING GRAPHIC INFORMATION

Denisova Y., Nikolaeva G.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The spread of image recognition technologies poses the task of increasing the accuracy of the result using various methods. Based on the analysis of scientific publications devoted to neural networks in image recognition tasks, the main methods used to increase the accuracy of the task are determined. The results of studies of various methods for improving the accuracy of graphic image recognition using neural networks are summarized.

Key words: *neural networks, convolutional neural networks, image recognition*

УДК 519.25
ГРНТИ 27.43.51

РЕГРЕССИЯ И КОЭФФИЦИЕНТ ДЕТЕРМИНАЦИИ

О. М. Дмитриева, Н. М. Камартина, Г. М. Тащиян

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье предлагается способ приближения регрессии вещественной случайной величины Y на регрессоре X линейной комбинацией различных систем функций. Способ основан на методе наименьших квадратов. В качестве основного показателя, отражающего меру качества регрессионной модели, описывающей связь между зависимой и независимой переменной модели, является коэффициент детерминации. Особое внимание уделяется ортонормированным системам функций.

регрессионная модель, коэффициент детерминации, ортонормированные системы функций

1. Коэффициент детерминации

В данной работе предлагается способ приближения регрессии вещественной случайной величины Y на регрессоре X линейной комбинацией различных систем функций, основанный на методе наименьших квадратов, а в качестве меры приближения является коэффициент детерминации.

Регрессия зависимой случайной величины Y на X является функцией $\varphi(X)$, которая доставляет минимальное значение функционалу

$$\Delta(\varphi) = M\big(Y - \varphi(X)\big)^2.$$

Приведем известное утверждение о регрессии [1].

Теорема 1. $\xi = (X, Y)$ двумерная случайная величина с конечными дисперсиями компонент ($D\big[X\big] < \infty$, $D\big[Y\big] < \infty$). Тогда

1) условное математическое ожидание $M\big[Y \big| X\big]$ -– регрессия;

2) справедливо разложение дисперсии случайной величины Y

$$D[Y] = D\big[M[Y|X]\big] + \Delta(M[Y|X]).$$

Второй пункт этой теоремы является основой дисперсионного и дискриминантного анализа в статистике. Величина

$$R^2(Y, X) = \frac{D\big[M[Y|X]\big]}{D[Y]} = 1 - \frac{\Delta(M[Y|X])}{D[Y]}$$

называется *коэффициентом детерминации* (корреляционным отношением) [2].

Коэффициент детерминации -– это доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью случайной величины Y на регрессоре X. Другими словами, R^2 измеряет "похожесть" предсказанных моделью значений зависимой переменной на ее фактически наблюдаемые значения.

В исследованиях часто используют величину единица минус доля необъясненной моделью дисперсии Y в общей дисперсии зависимой переменной.

Значение R^2 должно находиться в диапазоне от нуля до единицы: $0 \le R^2 \le 1$. Модель считается качественной, если значение коэффициента детерминации близко к 1. Если $R^2 = 1$, то между переменными Y и X существует линейная функциональная зависимость. Если $R^2 = 0$, то модель не объясняет вариацию зависимой переменной.

Коэффициент детерминации R^2 рассматривают, как правило, в качестве основного показателя, отражающего меру качества регрессионной модели, описывающей связь между зависимой и независимой переменной модели.

2. Приближение для регрессии

Для описания метода приближенного нахождения регрессии введем нужные обозначения и докажем необходимые для этого факты.

Пусть $\xi = (X,\ Y)$ двумерная случайная величина. Предполагая, что закон распределения регрессора X известен, выберем линейную комбинацию функций $\{1, \varphi_1(X), \varphi_2(X), \dots, \varphi_n(X)\}$, имеющих конечную дисперсию, т.е. случайную величину

$$\varphi(X) = a_0 + \sum_{j=1}^{n} a_j \cdot \varphi_j(X),$$

где $a_j,\ j = 0,\ 1,\ \dots,\ n$, – коэффициенты (вещественные числа).

Упорядоченный набор коэффициентов удобно записывать в виде $(a_0,\ a)$, где кортеж $a = (a_1,\ a_2,\ \dots,\ a_n)$ будет пониматься как вектор-столбец.

Введем обозначения для попарных ковариаций

$$c_{jk} = cov\left(\varphi_j(X), \varphi_k(X)\right) = M\left(\left(\varphi_j(X) - M\left(\varphi_j(X)\right)\right)\left(\varphi_k(X) - M\left(\varphi_k(X)\right)\right)\right),\ b_{Y,k} = cov\left(Y, \varphi_k(X)\right) = M\left(\left(Y - M(Y)\right)\left(\varphi_k(X) - M\left(\varphi_k(X)\right)\right)\right),$$

а также для матрицы ковариаций $\Sigma = \|c_{jk}\|$, $j, k = 1, 2, \ldots, n$, обратной матрицы ковариаций Σ^{-1} и вектора $b_Y = \left(b_{Y,1}, b_{Y,2}, \ldots, b_{Y,n}\right)^T$.

Согласно методу наименьших квадратов для построения приближения к регрессии, используем функцию

$$\delta(a_0, a) = M\left(Y - a_0 - \sum_{j=1}^{n} a_j \cdot \varphi_j(X)\right)^2,$$

точка экстремума которой позволит найти искомое приближение.

В дальнейшем используем стандартное обозначение для скалярного произведения $(\cdot,\cdot)$.

Теорема 2.

1. Точка экстремума функции $\delta(a_0, a)$ определяется равенствами

$$a^* = \Sigma^{-1} \cdot b_Y,\ a_0{}^* = M(Y) - \sum_{j=1}^{n} a_j{}^* \cdot M\left(\varphi_j(X)\right).$$

В качестве приближения к регрессии служит функция

$$\varphi(X) = a_0{}^* + \sum_{j=1}^{n} a_j{}^* \cdot \varphi_j(X).$$

2. В точке экстремума справедливы соотношения

$$\delta(a_0{}^*, a^*) = D\left(\left(\left(Y - \overline{Y}\right) - \sum_{j=1}^{n} a_j{}^* \cdot \left(\varphi_j - \overline{\varphi_j}\right)\right)\right),$$

$$D(Y) = (\Sigma^{-1} b_Y, b_Y) + \delta(a_0{}^*, a^*),$$

$$1 = \frac{(\Sigma^{-1} b_Y, b_Y)}{D(Y)} + \frac{\delta(a_0{}^*, a^*)}{D(Y)}$$

и коэффициент детерминации

$$R^2 = \frac{(\Sigma^{-1} b_Y, b_Y)}{D(Y)}.$$

Доказательство. Согласно необходимому признаку экстремума функции получаем в результате систему уравнений. Из первого уравнения

$$\frac{\partial \delta(a_0, a)}{\partial a_0} = -2M\left(Y - a_0 - \sum_{j=1}^{n} a_j \cdot \varphi_j(X)\right) = 0$$

определяем коэффициент a_0

$$a_0 = M(Y) - \sum_{j=1}^{n} a_j \cdot M\left(\varphi_j(X)\right).$$

Подставив коэффициент a_0 в выражение для функции $\delta(a_0, a)$, получаем

$$\delta(a_0, a) = \delta(a) = M\left(Y - M(Y) - \sum_{j=1}^{n} a_j \cdot \left(\varphi_j(X) - M\left(\varphi_j(X)\right)\right)\right)^2.$$

Для удобства используем обозначения для математических ожиданий $M(Y) = \overline{Y}$, $M\left(\varphi_j(X)\right) = \overline{\varphi_j}$. В этих обозначениях выводим систему уравнений для определения точки экстремума a

$$\frac{\partial \delta(a)}{\partial a_k} = -2M\left(\left(Y - \overline{Y} - \sum_{j=1}^{n} a_j \cdot \left(\varphi_j(X) - \overline{\varphi_j}\right)\right)\left(\varphi_k(X) - \overline{\varphi_k}\right)\right) = 0,$$
$$k = 1, \ldots, n,$$

или

$$\sum_{j=1}^{n} a_j \cdot M\left(\left(\varphi_j(X) - \overline{\varphi_j}\right)\left(\varphi_k(X) - \overline{\varphi_k}\right)\right) = M\left(\left(Y - \overline{Y}\right)\left(\varphi_k(X) - \overline{\varphi_k}\right)\right),$$
$$k = 1, \ldots, n.$$

В матричной форме и введенных выше обозначениях эта система принимает простой вид

$$\Sigma \cdot a = b_Y.$$

В предположении невырожденности матрицы ковариаций Σ получаем координаты единственной точки экстремума

$$a^* = \Sigma^{-1} \cdot b_Y,\ a_0{}^* = M(Y) - \sum_{j=1}^{n} a_j{}^* \cdot M\left(\varphi_j(X)\right).$$

Эта единственная точка экстремума является точкой минимума функции $\delta(a_0, a)$, т.к. при возрастании значений коэффициентов значения этой функции возрастают.

Вычислим минимальное значение функции $\delta\left(a_0^*, a^*\right)$

$$\delta(a_0{}^*, a^*) = M\left(\left(Y - \overline{Y}\right) - \sum_{j=1}^{n} a_j{}^* \cdot \left(\varphi_j - \overline{\varphi_j}\right)\right)^2 = D\left(\left(\left(Y - \overline{Y}\right) - \sum_{j=1}^{n} a_j{}^* \cdot \left(\varphi_j - \overline{\varphi_j}\right)\right)\right) =$$

$$= M\left(Y - \overline{Y}\right)^2 - 2\sum_{j=1}^{n} a_j{}^* \cdot M\left(\left(\varphi_j - \overline{\varphi_j}\right)\left(Y - \overline{Y}\right)\right) + M\left(\sum_{j=1}^{n} a_j{}^* \cdot \left(\varphi_j - \overline{\varphi_j}\right)\right)^2 =$$

$$= D(Y) - 2(a^*, b_Y) + \sum_{j,k=1}^{n} a_j{}^* \cdot a_k{}^* \cdot M\left(\left(\varphi_j - \overline{\varphi_j}\right)\left(\varphi_k - \overline{\varphi_k}\right)\right) =$$

$$= D(Y) - 2(a^*, b_Y) + (\Sigma \cdot a^*, a^*) = D(Y) - (\Sigma^{-1} b_Y, b_Y).$$

Отсюда выводим требуемые соотношения

$$D(Y) = (\Sigma^{-1} b_Y, b_Y) + \delta(a_0{}^*, a^*),$$
$$1 = \frac{(\Sigma^{-1} b_Y, b_Y)}{D(Y)} + \frac{\delta(a_0{}^*, a^*)}{D(Y)}$$

и коэффициент детерминации

$$R^2 = \frac{(\Sigma^{-1} b_Y, b_Y)}{D(Y)}.$$

Теорема 2 доказана.

Замечание 1. На практике в качестве системы функций $\{1, \varphi_1(X), \varphi_2(X), \ldots, \varphi_n(X)\}$ удобно брать конечную подсистему ортонормированной системы, согласованной с законом распределения регрессора. В этом случае матрица ковариаций Σ будет единичной матрицей. Коэффициент детерминации будет равен

$$R^2 = \frac{(b_Y, b_Y)}{D(Y)}.$$

При выборе ортонормированной системы функций предпочтение отдаем тем системам, у которых число коэффициентов ряда Фурье отличных от нуля наименьшее.

Замечание 2. Если заранее закон распределения регрессора неизвестен, то его можно аппроксимировать одним из известных статистических методов.

3. Пример

Предполагая, что закон распределения регрессора $X \sim U[0, 2\pi]$, т.е. случайная величина X имеет непрерывное равномерное распределение на отрезке $[0, 2\pi]$ с плотностью $f(x)$

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [0, 2\pi], \\ \dfrac{1}{2\pi}, & x \in [0, 2\pi]. \end{cases}$$

В пространстве $L_2\left([0,\ 2\pi],\ \dfrac{dx}{2\pi}\right)$ выберем ортонормированную систему функций

$$1,\ \sqrt{2}\sin x,\ \sqrt{2}\cos x,\ \ldots,\ \sqrt{2}\sin kx,\ \sqrt{2}\cos kx,\ \ldots$$

В этом случае матрица ковариаций Σ является единичной и коэффициент детерминации равен отношению

$$R^2 = \frac{\|b_Y\|^2}{D(Y)} = \frac{1}{D(Y)} \sum_{k=1}^{n} cov^2\big(Y, \varphi_k(X)\big),$$

где в качестве функций φ_k выступают функции из ортонормированной системы.

В таблице 1 представлены экспериментальные данные

ТАБЛИЦА 1. Значения двадцати измерений двух признаков

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x	0.008	1.215	3.676	2.201	5.17	1.094	4.464	1.91	0.574	0.926
y	2.024	1.299	-0.56	1.815	-3.905	1.509	-4.662	1.274	2.45	1.844

продолжение

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x	6.211	0.748	0.056	3.341	3.781	1.045	2.832	0.358	4.922	3.266
y	1.769	2.19	2.156	1.254	-1.211	1.604	2.545	2.561	-4.757	1.568

Оценка дисперсии величины Y: $D(Y) \approx 5.392$.

Выберем функции:

$$\varphi_1(x) = \sqrt{2}\sin x, \varphi_2(x) = \sqrt{2}\cos x, \varphi_3(x) = \sqrt{2}\sin 2x, \varphi_4(x) = \sqrt{2}\cos 2x,$$
$$\varphi_5(x) = \sqrt{2}\sin 3x, \ \varphi_6(x) = \sqrt{2}\cos 3x.$$

Оценим ковариации этих функций с переменной y

$$b_{Y,k} = cov\big(Y, \varphi_k(X)\big) \approx \frac{1}{20} \sum_{j=1}^{20} \big(y_j - \overline{y}\big)\big(\varphi_k(x_j) - \overline{\varphi_k}\big),$$

где $\overline{y}$ и $\overline{\varphi_k}$ средние значения выборочных данных. Получим $\overline{y} = 0.638$,

$b_{Y,1} \approx 1.698$, $b_{Y,2} \approx 0.479$, $b_{Y,3} \approx 0.419$, $b_{Y,4} \approx 1.267$, $b_{Y,5} \approx -0.043$, $b_{Y,6} \approx 0.186$.

Выбрав отсюда наибольшие значения: $b_{Y,1} \approx 1.698$, $b_{Y,4} \approx 1.267$, получим оценку для коэффициента детерминации

$$R^2 = \frac{\|b_Y\|^2}{D(Y)} \approx \frac{{b_{Y,1}}^2 + {b_{Y,4}}^2}{D(Y)} \approx \frac{4.488}{5.392} = 0.832.$$

В качестве приближения регрессии получаем кривую (рис. 1)

$$\varphi(x) = 0.638 + 2.401 \cdot \sin x + 1.792 \cdot \cos 2x.$$

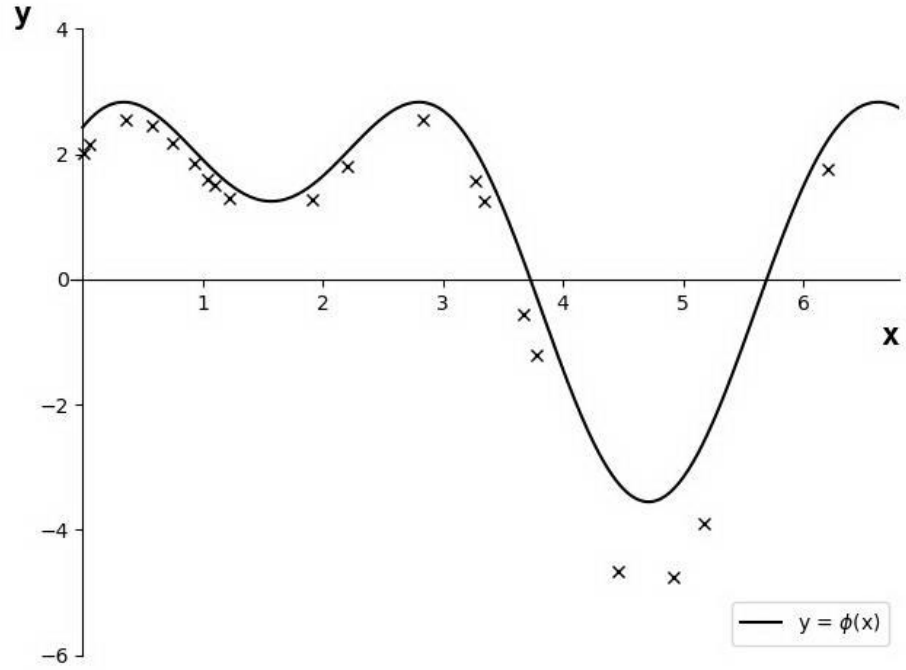


Рис. 1. Экспериментальные данные и кривая регрессии

Список используемых источников

1. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей: Учебник. 13-е изд., М.: ЛЕНАНД, 2022.

2. Громыко Г. Л., Воробьёв А. Н. и др. Теория статистика: Учебник. 4-е изд., пер. и доп. М.: Инфра-М, 2023.

REGRESSION AND COEFFICIENT OF DETERMINATION

Dmitrieva O., Kamartina N., Tashchiyan G.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In this work we propose a method for approximating the regression of a real random variable Y on a regressor X by a linear combination of various systems of functions. Our approach is based on the least squares method. The main indicator that reflects the quality measure of the regression model describing the connection between dependent and independent variables is the coefficient of determination. Particular attention is paid to the orthonormal systems
of functions

Key words: *regression model, coefficient of determination, orthonormal systems of functions*

УДК 004.738
ГРНТИ 20.15.05

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ НА ВЫБОР БЛОКЧЕЙН-СЕТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

А. О. Жаранова, В. В. Капитоненко

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Обоснована актуальность выбора блокчейн-сети с учетом ее интероперабельности для различных типов децентрализованных приложений. Проведен теоретический обзор существующих подходов к межсетевому взаимодействию. Проанализированы задачи, возникающие при разработке децентрализованных приложений, с акцентом на влияние различий в архитектурах сетей, таких как EVM-сети, TON и парачейны, на их решение. Определены критерии для выбора блокчейн-сети при разработке децентрализованных приложений. На основе сравнительного анализа выявлены преимущества и недостатки рассматриваемых сетей, предложены рекомендации по их применению для различных типов приложений. Сделаны выводы о значимости интероперабельности как ключевого фактора при выборе блокчейн-сети.

блокчейн, интероперабельность, децентрализованные приложения, межсетевое взаимодействие, архитектура сети

В современных условиях децентрализованные приложения представляют собой ключевой элемент экосистемы блокчейн, обеспечивая широкий спектр функциональных возможностей, от финансовых операций до управления цифровыми активами. Однако их эффективность во многом зависит от выбора блокчейн-сети, обладающей достаточной степенью интероперабельности. Ограниченная совместимость сетей создает барьеры для пользователей и разработчиков, вынуждая их искать решения, обеспечивающие удобство и гибкость взаимодействия между различными блокчейнами.

Развитие межсетевых технологий, таких как кроссчейн-мосты, атомарные свопы и стандарты совместимости, открывает новые перспективы для повышения связности экосистем. Данные технологии предоставляют пользователям и разработчикам возможности взаимодействовать с активами и данными, распределенными между разными сетями, что делает выбор блокчейна более стратегическим решением. В связи с этим актуализируется вопрос исследования факторов, определяющих, какая сеть наиболее соответ-

ствует требованиям конкретного приложения с учетом ее технических характеристик и возможностей взаимодействия с другими платформами.

Одним из ключевых направлений обеспечения интероперабельности являются кроссчейн-мосты, которые позволяют перемещать активы и данные между разными блокчейн-сетями. Такие решения, как Wormhole, Avalanche Bridge и Rainbow Bridge, обеспечивают взаимодействие между несовместимыми экосистемами, снижая транзакционные издержки и расширяя возможности пользователей. Однако мосты подвержены уязвимостям, связанным с безопасностью и централизацией узлов, что требует дополнительных мер защиты.

Альтернативным подходом являются атомарные свопы, которые позволяют обменивать активы между разными сетями без участия посредников. Данный метод базируется на технологии хешированных контрактов с временной блокировкой (HTLC) и применяется, например, в протоколах обмена между Bitcoin и Ethereum. Несмотря на безопасность и децентрализацию, атомарные свопы ограничены в функциональности и требуют сложной инфраструктуры для внедрения.

Существенное влияние на развитие межсетевого взаимодействия оказывает стандарт IBC (Inter-Blockchain Communication), разработанный в экосистеме Cosmos. Данный протокол обеспечивает безопасное и масштабируемое взаимодействие между совместимыми блокчейн-сетями, что делает его перспективным решением для интеграции различных платформ. Однако его применение ограничено экосистемами, поддерживающими данную архитектуру.

Помимо вышеуказанных методов, активно развиваются Layer 2-решения, такие как Rollups и State Channels, которые позволяют разгружать основную сеть, обеспечивая более дешевое и быстрое выполнение транзакций. Подобные технологии могут также выступать в качестве связующего звена между разными блокчейнами, повышая их совместимость и пропускную способность.

Архитектурные различия блокчейн-сетей оказывают значительное влияние на разработку и развертывание децентрализованных приложений. Одной из наиболее распространенных архитектур является модель Ethereum Virtual Machine (EVM), используемая в Ethereum, BNB Chain, Avalanche C-Chain и ряде других сетей. Ее основное преимущество заключается в совместимости смарт-контрактов, что позволяет разработчикам легко переносить приложения между различными сетями. Однако высокая загруженность основной сети Ethereum приводит к увеличению стоимости транзакций и снижению пропускной способности [1].

Альтернативный подход представлен архитектурой TON, которая использует механизм шардинга для масштабирования и ускорения транзакций. В отличие от EVM-сетей, TON предлагает уникальную систему распределенных вычислений и интегрированные инструменты для децентрализованных сервисов. Однако ее экосистема находится в стадии активного развития, что может ограничивать доступность необходимых инструментов для разработчиков.

Еще одной моделью являются парачейны Polkadot, которые взаимодействуют через релейную цепь, обеспечивая безопасность и совместимость. Данная архитектура позволяет создавать специализированные блокчейны с возможностью передачи данных и активов между ними, что делает ее привлекательной для разработчиков, ориентированных на специфические задачи. Однако сложность развертывания и необходимость участия в аукционах слотов могут затруднять использование этой экосистемы.

Выбор блокчейн-сети для децентрализованного приложения зависит от ряда ключевых критериев. Во-первых, необходимо учитывать уровень интероперабельности сети, то есть возможность взаимодействия с другими экосистемами. Высокая совместимость упрощает интеграцию внешних активов и данных, расширяя аудиторию пользователей. Например, Polkadot использует нативный протокол для межсетевого взаимодействия XCM, что позволяет обеспечивать высокую интероперабельность сети.

Во-вторых, важную роль играет пропускная способность сети и стоимость транзакций. Сети с высокой скоростью обработки операций и низкими комиссиями более привлекательны для приложений с высокой нагрузкой, таких как децентрализованные биржи и платежные сервисы.

В-третьих, необходимо учитывать безопасность сети и ее децентрализацию. Чем выше уровень децентрализации, тем меньше рисков, связанных с цензурой и атаками на сеть. Децентрализация напрямую связана с механизмом консенсуса, который использует сеть. Ethereum и TON используют Proof of Stake (PoS), что обеспечивает высокую безопасность и устойчивость к атакам. BNB Chain использует Proof of Authority (PoA), при котором валидаторы выбираются компанией Binance, что повышает эффективность, но снижает уровень децентрализации. Solana применяет Proof of History (PoH), который дополняет Proof of Stake в части повышения скорости обработки транзакций, а Polkadot реализует Nominated Proof of Stake (NPoS), обеспечивая распределенное управление выбором валидаторов и балансируя между децентрализацией и эффективностью.

Помимо этого, следует учитывать удобство разработки и доступность инструментов для программистов. Развитые экосистемы, такие как

Ethereum и Polkadot, предоставляют широкий выбор SDK, документации и библиотек, что снижает порог входа для новых проектов [2].

Результаты сравнительного анализа блокчейн-сетей по выделенным ключевым критериям представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение блокчейн-сетей по выделенным критериям

Критерий	Ethereum	BNB Chain	Solana	Polkadot	TON
Интероперабельность	Высокая	Средняя	Низкая	Высокая	Развивающаяся
Пропускная способность (TPS)	15-30	~200	>2 000	~1 000	>100 000
Средняя комиссия за транзакцию	$5-$50	<$0.10	<$0.01	$0.01-$0.10	~$0.005
Механизм консенсуса	PoS	PoS+PoA	PoS+PoH	NPoS	PoS
Удобство разработки	Развитая экосистема	Простая интеграция	Высокая производительность	Гибкость и безопасность	Ограниченный инструментарий

Анализ различных сетей позволяет выделить их основные преимущества и недостатки. Например, сети на базе EVM обеспечивают широкую совместимость и развитую инфраструктуру, но сталкиваются с высокой загруженностью и дорогими транзакциями. TON предлагает масштабируемость и быстродействие, но ограничен в доступных инструментах. Парачейны Polkadot обеспечивают гибкость и безопасность, но требуют сложного механизма развертывания. Основываясь на этих характеристиках, можно выработать рекомендации по использованию сетей для различных типов децентрализованных приложений.

С учетом проведенного анализа можно сформулировать следующие рекомендации по выбору блокчейн-сети в зависимости от типа децентрализованного приложения. Для DeFi-приложений, требующих высокой ликвидности и надежности, предпочтительно использовать сети с развитой инфраструктурой, такие как Ethereum и его Layer 2-решения (Arbitrum, Optimism). Для игровых и NFT-платформ оптимальными являются Avalanche, Flow и Solana, которые обеспечивают низкие комиссии и высокую пропускную способность. В корпоративных решениях, где критична конфиденциаль-

ность, следует рассматривать гибридные блокчейны, такие как Hyperledger Fabric или Quorum.

Интероперабельность играет ключевую роль в выборе блокчейн-сети, влияя на удобство интеграции, масштабируемость и перспективы развития приложений. В будущем можно ожидать появления новых стандартов взаимодействия, таких как протоколы межсетевого обмена (например, IBC в Cosmos) и универсальные мосты, которые упростят интеграцию между различными экосистемами. Развитие технологий мультицепочечных смарт-контрактов и zk-SNARKs также может способствовать безопасному и эффективному обмену данными между различными блокчейнами, создавая более взаимосвязанную экосистему децентрализованных решений. В будущем можно ожидать появления новых стандартов взаимодействия, которые упростят интеграцию между различными блокчейн-сетями и создадут более взаимосвязанную экосистему децентрализованных решений.

Список используемых источников

1. Kang, I., Gupta, A. M., Seneviratne, O. Blockchain Interoperability Landscape, 2022 // URL: https://doi.org/10.1109/BigData55660.2022.10020412 (дата обращения 27.01.2025).

2. Khan, K. M., Fahim, A., Saleem, D., Jokhio, M. Empirical Investigation on Blockchain Interoperability. VFAST Transactions on Software Engineering, 2023, 11(1), 25–36 // URL: https://doi.org/10.21015/vtse.v10i4.1315 (дата обращения 28.01.2025).

Статья представлена заведующим кафедрой ИУС СПбГУТ, кандидатом технических наук, доцентом В. Л. Литвиновым.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF INTEROPERABILITY ON THE CHOICE OF BLOCKCHAIN NETWORK FOR VARIOUS TYPES OF DECENTRALIZED APPLICATIONS

Zharanova A., Kapitonenko V.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The relevance of selecting a blockchain network based on its interoperability for various types of decentralized applications is substantiated. A theoretical review of existing approaches to cross-network interaction is conducted. The challenges encountered in the development of decentralized applications are analyzed, with an emphasis on the impact of architectural differences among networks, such as EVM-based networks, TON, and parachains, on their resolution. Criteria for choosing a blockchain network for decentralized application development are defined. Based on a comparative analysis, the advantages and disadvantages of the examined networks are identified, and recommendations for their application in different types of applications are proposed. Conclusions are drawn regarding the significance of interoperability as a key factor in selecting a blockchain network.

Key words: *blockchain, interoperability, decentralized applications, cross-network interaction, network architecture*

УДК 007.52
ГРНТИ 28.19

ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НА ПРАКТИКЕ ОПЕРАЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ

И. А. Зикратов, Е. А. Новиков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Рассматривается процесс проведения операций с помощью распределенных (роевых) робототехнических систем. Используются методы исследований операций, проводится декомпозиция операций на этапы, которые разбиваются на частные операции. Для частных операций определяются критерии эффективности. В качестве исследуемых практически проводимых операций рассматриваются некоторые поисково-спасательные операции, пожаротушение, поиск нефтяных разливов и другие операции. Результатом работы является анализ процессов проведения операций на практике с точки зрения исследования операций.

задача группового управления; рой роботов; групповая робототехника; многоагентная система; мультиагентная система; распределенная робототехническая система; поисково-спасательная операция; операция; исследование операций.

На данный момент развития технологического комплекса нашей страны, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и системы их использующие являются одним из основных перспективных направлений, что отражено в Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года [1]. В частности, наиболее широкое распространение получило использование БПЛА в Министерстве обороны Российской Федерации [2] и в МЧС России [3].

Практическое применение распределенной (роевой) робототехнической системы (РРТС), представляющей собой набор взаимодействующих между собой одинаковых БПЛА, связано с постановкой некоторой определенной цели, которую достигает система [4]. Такой целью может быть как достижение определенной точки одним или каждым из дронов, перемещение некоторого объекта или же выход на определенный маршрут. Очевидно, что использование РРТС предполагает решение не только повторяющихся или постоянно актуальных задач, предполагающих одну определенную неизменную цель для РРТС на все время ее использования, но и решение задач, сходных по своей сути, но различающихся в деталях, а значит и в по-

становке цели. Исходя из этого, целесообразно ввести понятие операции применительно к РРТС.

Используем общее определение операции, без привязки к конкретной предметной области. «Операция – законченное действие или ряд действий, направленных на решение определенной задачи, достижение поставленной цели» [5]. Такое определение вполне подходит под описание процесса достижения конкретной цели РРТС. Стоит обратить особое внимание на то, что операция представляет собой «ряд действий», поскольку этот факт позволяет осуществить декомпозицию операции и рассмотреть эти действия по отдельности.

Рассмотрим конкретные примеры задач, решаемых с помощью РРТС на практике. Использование БЛПА и РРТС в МЧС России связано с решением задач, которые можно классифицировать следующим образом [3, 6-10]:

– Поиск, разведка и мониторинг:
  - поиск терпящих бедствие судов, экипажей и отдельных людей;
  - контроль, мониторинг и разведка определенных зон (в том числе зон ЧС) или объектов, определение их границ, обнаружение очагов (в том числе для предупреждения ЧС);
  - координация действий наземных групп (в том числе групп устранения ЧС).
– Доставка и перемещение:
  - доставка малогабаритных грузов в назначенные районы;
  - оповещение населения о ЧС.

Можно заметить, что каждая задача обоих из этих классов действительно представляет собой завершенный ряд действий, направленный на достижение конкретного результата. Обратим внимание на класс задач, связанный с поиском, разведкой и мониторингом – задачи этого класса предполагают следующие действия: передвижение по определенному маршруту, поиск определенных целей и определение их состояния, передача собранной информации о целях. Для класса задач, связанных с доставкой и перемещением имеем следующие действия: поиск определенной целевой точки назначения, достижение точки назначения.

Можно заметить, что имеется *три* уникальных действия, осуществляемых каждым конкретным БПЛА: перемещение по определенному маршруту, поиск целей, достижение целей (из описанных выше действий действие «передача информации» не является уникальным, поскольку заклю-

чается в достижении некоторой целевой точки, из которой возможна передача информации). При этом использование множества БПЛА вместе в виде РРТС накладывает особые требования на действие «достижение целей», поскольку для каждой цели может быть определено свое значение количества БПЛА, которые должные ее достигнуть, чтобы эта цель считалась выполненной. Отсюда имеем необходимость распределения целей среди членов РРТС. Можно также заметить, что действия «достижение цели (целевой точки)» и «перемещение по маршруту» представляют собой частные случаи одного действия «перемещение», различающиеся лишь видом цели, определенной для этого действия (будь то точка или маршрут, являющийся последовательностью точек). Исходя из этого, можно определить множество действий, которые должна выполнять РРТС для проведения операции: *перемещение агентов системы*, *поиск целей*, *распределение целей среди агентов*.

Рассмотрим теперь процесс проведения операции роем [11]. С логической точки зрения его можно подразделить на три этапа: рой следует по маршруту, рой обнаруживает цель, в результате чего от него отделяется некоторое число агентов на эту цель, роль перегруппировывается для сохранения формации (поскольку именно определенная формация позволяет покрывать область поверхности относительно равномерно и обнаруживать цели). Граф процесса проведения операции показан на рис. 1.

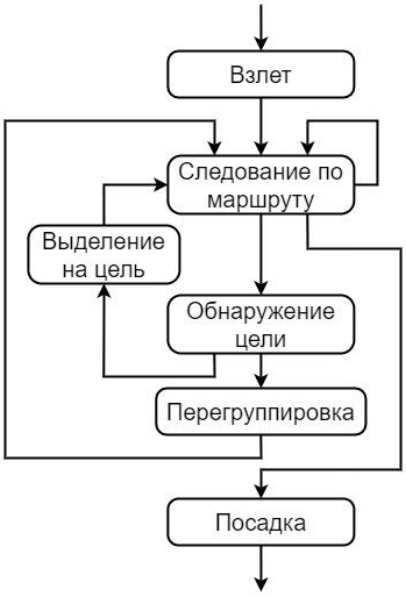


Рис. 1. Граф состояний процесса проведения операции с точки зрения этапов проведения операции

Определим, каким образом соотносятся этапы проведения операции с действиями, которые были получены выше. Вполне очевидно, что «следование по маршруту» представляет собой «перемещение». Также очевидно, что «обнаружение цели» представляет собой «поиск целей». Переходя к менее очевидным, имеем, что «выделение на цель» содержит последовательно выполняемые «распределение целей» и «перемещение», а «перегруппировка» представляет собой «перемещение» агентов, оставшихся в рое после отделения некоторого их числа. Касательно выделенных на цели агентов роя, считаем, что после выполнения своей задачи у цели они продолжают следование по маршруту («перемещение») и рано или поздно обнаруживают остальной рой, к которому присоединяются без дополнительных действий. Исходя из этого, можно преобразовать граф процесса проведения операции роем и представить его в виде, приведенном на рис. 2.

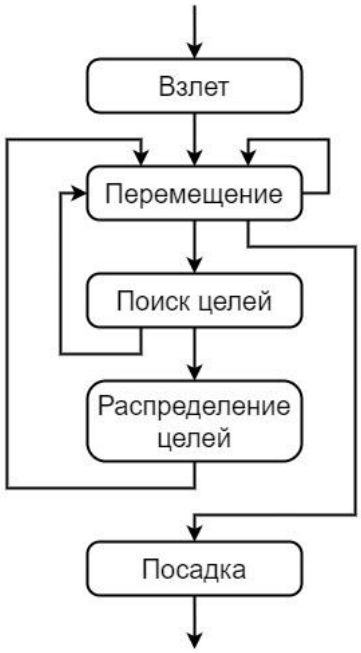


Рис. 2. Граф состояний процесса проведения операции с точки зрения отдельных действий роя

Обратимся теперь к области исследования операций. Термин «операция» определяется как «мероприятие (или система действий), объединенное единым замыслом и направленное к достижению определенной цели» [12], что вполне соотносится с рассмотренным ранее достаточно общим определением. Отсюда имеем, что все предыдущие выводы касательно задач, решаемых с помощью БПЛА и РРТС можно рассматривать с точки зрения исследования операций. Перейдем к этому рассмотрению.

Исследование операций предполагает достаточно общее определение операции, что позволяет понимать как операцию любое действие, приносящее определенный результат [12]. В частности, можно декомпозировать всю «общую» операцию, проводимую РРТС, на отдельные «частные операции», которым будут соответствовать определенные выше действия РРТС. Кроме того, отсюда имеем, что граф на рисунке 2 представляет собой декомпозицию общей операции на частные операции.

Основываясь на проведенном анализе операции в целом и частных операций, можно сделать вывод, что в каждый момент времени имеется ровно один критерий эффективности, в соответствии с которым решается задача группового управления – управления роевой системой. Данная работа определяет составляющие процесса правления РРТС при реализации операций с использованием БПЛА и может послужить теоретической основой для дальнейших исследований в области групповой робототехники. В частности, дальнейшими направлениями исследования могут быть более детальные исследования каждой отдельной частной операции и определение устройства роя и свойств алгоритма управления роем, позволяющих достигать оптимальных значений с точки зрения полученных выше критериев эффективности.

Список используемых источников

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21.06.2023 № 1630-р: Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года. URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202306280006 (дата обращения 27.01.2025).

2. Ростопчин В. В. Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона – проблемы и перспективы противостояния. URL: https://www.researchgate.net/ publication/331772628_Udarnye_bespilotnye_letatelnye_apparaty_i_protivovozdusnaa_oborona_-problemy_i_perspektivy_protivostoania (дата обращения 27.01.2025).

3. Карчевский Ю. С., Пупынин В. И., Волобуева Е. В. Опыт применения беспилотных воздушных судов МЧС России при проведении аварийно-спасательных работ // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. № 1(9). С. 338–340.

4. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустян С. Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 280 с.

5. Операция – Большая советская энциклопедия. URL: https://gufo.me/dict/bse/Операция (дата обращения 27.01.2025).

6. Айроян З. А., Коркишко О. А., Сухарев Г. В. Мониторинг магистральных нефтепроводов с помощью беспилотных летательных аппаратов // Инженерный вестник Дона. 2016 № 4(43). С. 179.

7. Мухьянов Э. С., Ефимов С. В. Предпосылки к применению беспилотных воздушных судов в России // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018 № 1(9). С. 640-645.

8. Пупынин В. И., Кобка Е. О., Березин П. Ю. Особенности применения беспилотных воздушных судов при проведении аварийно-спасательных работ // «Современные проблемы создания и эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов в системе МЧС России»: Сборник трудов секции № 10 XXIX Международной научно-практической конференции «ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ. СПАСЕНИЕ. ПОМОЩЬ». М: ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России, 2019. С. 19–25.

9. Презентация «Основные направления применения беспилотных авиационных в системе МЧС России». URL: https://aviacenter.org/d/166600/ d/osnovnyye_ napravleniya_primeneniya_bespilotnykh_aviatsionnykh_sistem_v_mchs_rossii.pdf (дата обращения 27.01.2025).

10. Врагов А. А. Алгоритм управления поисково-спасательным беспилотным летательным аппаратом // CHRONOS. 2022 № 7(69). С. 39-46.

11. Новиков Е. А. Задача группового управления роем в процессе выбора целей при наличии неопределенностей // WORLD OF SCIENCE: сборник статей X Международной научно-практической конференции. Пенза: Наука и Просвещение, 2024. С. 81–83.

12. Вентцель Е. С. Введение в исследование операций. М.: Советское радио, 1964. 388 с.

APPLICATION OF DISTRIBUTED ROBOTIC SYSTEMS IN PRACTICAL OPERATIONS OF VARIOUS TYPES

Zikratov I., Novikov E.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The paper examines the process of conducting operations using distributed (swarm) robotic systems. Methods of operations research are applied, involving the decomposition of operations into stages, which are further divided into sub-operations. Efficiency criteria are defined for these sub-operations. As practical case studies, certain search and rescue operations, firefighting, oil spill detection, and other operations are considered. The outcome of the work is an analysis of real-world operation processes from the perspective of operations research.

Key words: *Group control problem, swarm control, swarm robotics, multi-agent robotic system, multi-agent system, distributed robotic system, search and rescue operation, operation operations research*

УДК 621.385.6
ГРНТИ 29.35.45

РАЗРАБОТКА ОДНОМЕРНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОЩНОГО МНОГОРЕЗОНАТОРНОГО КЛИСТРОНА

В. Я. Иванов[1], В. Е. Гущин

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Для быстрого проектирования предварительного дизайна клистронов, имеющих значение для фундаментальной науки (например, проектов ускорителя Супер С-тау фабрики), целесообразно использовать численно-аналитические модели. Однако, большинства из них нет в открытом доступе, поэтому в ИЯФ СО РАН ведется разработка численно-аналитической программы на основе одномерной дисковой математической модели пучка клистрона. К настоящему времени в данной программе рассчитано линейное группирование пучка в 2-х резонаторном мощном клистроне. Проведено сравнение и показано качественное совпадение результатов расчета разрабатываемой авторской программы KlyVI с аналитической теорией и результатами моделирования других программ.

клистрон, СВЧ-техника, одномерная дисковая модель, математическое моделирование

Необходимая часть любого современного ускорителя заряженных частиц – мощные многорезонаторные пролетные клистроны. Они используются в качестве источников СВЧ-питания, т. е. для создания ускоряющих высокочастотных полей в ускоряющих структурах [1-3]. Закупать клистроны из-за рубежа было сложно и раньше, но стало совершенно невозможно недавно из-за санкционной политики западных стран. На сегодняшний день, длительный опыт и культура проектирования и изготовления мощных (выходная импульсная мощность выше 20 МВт) клистронов для научных целей в России находится не на должном уровне. Однако, в ИЯФ СО РАН [3-5] несколько лет ведутся работы по созданию таких клистронов, которые станут неотъемлемой частью проектов синхротрона СКИФ (сибирского кольцевого источника фотонов) и Супер С-тау фабрики.

Стоит отметить, что подавляющее большинство полуаналитических программ недоступны для проведения расчетов, за исключением некоторых версий программы AJDISK, а большинство коммерческих и авторских программ требуют лицензий. Соответственно, возникает потребность в само-

стоятельном написании полуаналитических программ, моделирующих характеристики пролетных клистронов.

Из-за доступности литературы о реализации модели дисков и колец [6] и некоторых версий AJDISK, было решено за основу создаваемой программы взять эту модель в ее одномерной версии. При сравнении также использовалась программа VIDISK [3] со схожей математической моделью. Данные модели позволяют за секунды получать неплохие приближения при оценке параметров клистрона (точность одномерных программ меньше 10 % [7]). Вычислительный модуль программы KlyVI при этом написан на языке C++. Графики построены при помощи программы на языке Python.

Клистрон является сложным устройством и его модель можно разделить на модели описания электронной пушки, параметров резонаторов, системы группировки пучка, выходного резонатора вместе с волноводом. В данной работе описана только модель системы группировки. Параметры пушки (энергия, ток, диаметр пучка) и резонаторов (частота, добротность, расстройка, распределение поля, волновое сопротивление) считаются исходно заданными.

Физическая модель системы группировки включает в себя: релятивистское уравнение движения электронов в электромагнитных полях, создаваемых резонаторами и самими электронами; уравнения, описывающие пространственный профиль поля резонаторов и зависимость его от времени; уравнения расчета напряжения на входном резонаторе; уравнения расчета напряжения, наводимого пучком на пассивные резонаторы.

Стоит отметить, что клистрон – импульсный прибор, в котором электронная пушка стреляет с частотой порядка десятков Гц. Момент начала выстрела и его окончания являются малозначимыми (т. к. достаточно быстро устанавливается стационарный режим, который на протяжении выстрела эквивалентен непрерывной работе пушки) при расчете выходных параметров клистрона, однако требует больших вычислительных ресурсов в связи с нестационарностью процесса. Поэтому разумно исключить его из расчета.

В рассматриваемой одномерной модели осесимметричного клистрона поток частиц с электронной пушки имеет круглое сечение и разбивается на диски в продольном направлении. Считается, что плотность заряда по объему диска распределена равномерно, радиус и высота диска не изменяется при движении. То есть пренебрегается неоднородностью электрического поля в электронной пушке, которое влечет за собой неоднородность распределения заряда по сечению пучка; фокусировкой пучка, вызванной солено-

идом. И пренебрегается неоднородностью полей пространственного заряда и резонаторов по сечению пучка. При этом считается, что продольное магнитное поле от соленоида сильное и частицы движутся лишь параллельно оси симметрии пучка. Математическая модель похожа на модель программы AJDISK [6]. В связи с этим, вместо детального описания модели, в данной статье представлено краткое описание модели с расширенным описанием деталей, упущенных в статье [6] или измененных при разработке модели для программы KlyVI. Алгоритм также является итерационным, но существенным отличием является расчет не скоростей на каждом шаге, а импульсов. Такой подход снижает погрешность расчета при релятивистских скоростях движения частиц в 2 и более раз [8].

Для интегрирования релятивистского уравнения движения диска используется одношаговая консервативная схема 2-ого порядка точности (схема Эйлера) [3, стр. 25]. Пользоваться схемой большего порядка точности не имеет смысла в связи с тем, что основную погрешность в расчеты вносит расчет поля от вариации зарядов дисков.

Поле пучка рассчитывается как сумма полей дисков, исходя из представления, что весь клистрон заполнен пучком. То есть, так как во входном резонаторе клистрона пучок приобретает лишь модуляцию по скоростям, но не по плотностям, то поле от дисков практически равно нулю: внутри однородного бесконечного пучка продольная составляющая поля строго равна 0 – эта аналогия применима в данном случае во всем клистроне в связи с быстрым падением электрического поля диска от продольной координаты. Значит, необходимо рассчитывать поле дисков не от всего их заряда, а лишь от его изменения (что не указано в статьях об AJDISK). Изменение амплитуды продольного поля внутри пучка появляется при возникновении модуляции плотности, т. е. перекрывании дисков, и рассчитывать его можно разными способами. Как показало тестирование, для расчета 2-х резонаторного клистрона это роли не играет. Однако предположительно может играть существенную роль при возникновении нелинейной модуляции в клистроне с большим числом резонаторов.

В связи с периодичностью поля резонаторов, можно экономить время вычислений и рассчитывать движение части пучка, выпущенной из пушки за время равное периоду колебания поля входного резонатора ~ 0.3 нс, при длительности выстрела электронной пушки ~ 3.5 мкс (движение других дисков будет таким же).

Тестирование программы началось с отладки расчетов: напряжения на входном резонаторе; движения дисков через входной резонатор. Вопрос о способе расчета поля дисков по началу кажется простым. Однако ожидается весьма трудоемким при расчетах многорезонаторных мощных клистронов из-за того, что группировка в последних каскадах нелинейна (диски начинают обгонять друг друга). Поэтому отладку расчета поля пространственного заряда необходимо будет уточнить в будущем при расчете 6-ти резонаторных клистронов. Тем не менее, был отлажен расчет поля пучка на примере 2-х резонаторного клистрона.

Благодаря наличию сведений об амплитудах и фазах напряжений на резонаторах из расчетов программ AJDISK и VIDISK (которые, как и KlyVI, написаны на основе одномерной дисковой математической модели), была возможность провести расчет продольной динамики группирования пучка в клистронах без самостоятельного расчета программой KlyVI наводимых пучком на пассивные и выходной резонаторы напряжений. Такая зависимость от расчетов других программ, очевидно, является явным недостатком программы KlyVI. Работа над отладкой расчета напряжения на резонаторах находится в процессе.

Расчет программой *KlyVI* напряжения на входном резонаторе проведен по методике, изложенной в статье Вогана [9] и дал результат 2512 В, при этом для расчета был взят базовый тестовый файла программы AJDISK (K5045.dsk - клистрон с выходной импульсной мощностью 50 МВт). Программа AJDISK дает результат 2580 В, отличие в 2 % является приемлемым. Более точное сравнение затруднено, так как неизвестен алгоритм вычисления напряжения входного резонатора программой AJDISK.

Расчет движения пучка через входной резонатор (файл K5045.dsk) показал ожидаемые результаты: траектории (время от координаты) движения дисков параллельны друг-другу в связи с малым изменением скоростей дисков и расстояний между ними (модуляция на 4 порядка меньше самой величины скорости равной примерно 0.8 от скорости света). При этом скорости дисков на входе во входной резонатор (-3σ от его центра) можно считать одинаковыми. При этом до второго резонатора достаточно большое расстояние, чтобы поле от входного резонатора обратилось в ноль – значит, дрейфовый промежуток будет смоделирован корректно. Сравнение с программой AJDISK расчета входного и выходного резонаторов невозможно в силу отсутствия у нее подробного выходного листинга и невозможностью изменять масштаб ее графических результатов.

При сравнении результатов KlyVI (амплитуды и фазы напряжения резонаторов были взяты из расчета VIDISK) (см. рис. 1 и 2) с оценкой аналитической теории в линейном приближении группировки из [10] показано совпадение по порядку (см. таблицу 1).

ТАБЛИЦА 1. Сравнение значений амплитуды модуляции скорости пучка относительно скорости света программы KlyVI с аналитической теорией

№ резонатора	Аналитическая теория [25] для одного резонатора	Сумма (Аналитическая теория)	KlyVI	отн. разница, %	абс. погрешность
1	0,0005	0,0005	0,0010	50	0,0005
2	0,0016	0,0021	0,0039	46	0,0018

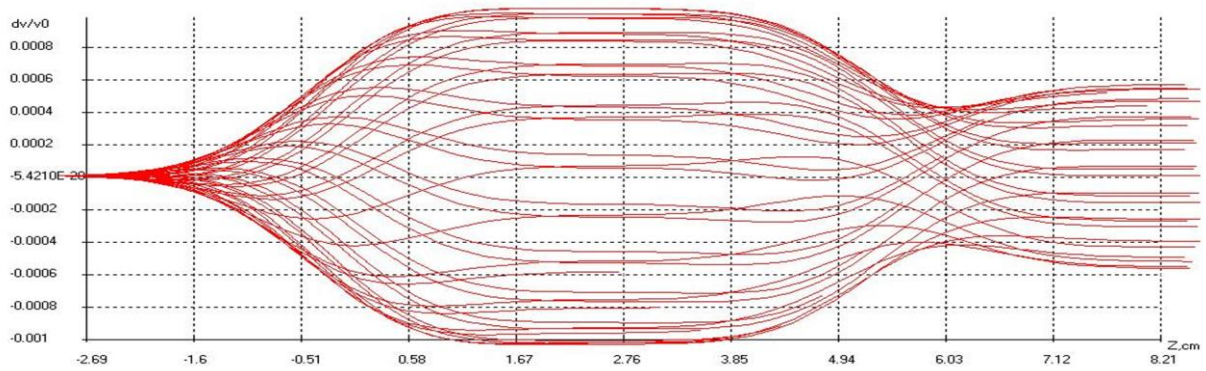


Рис. 1. График dv/c от z [sm]- расчет программы VIDISK

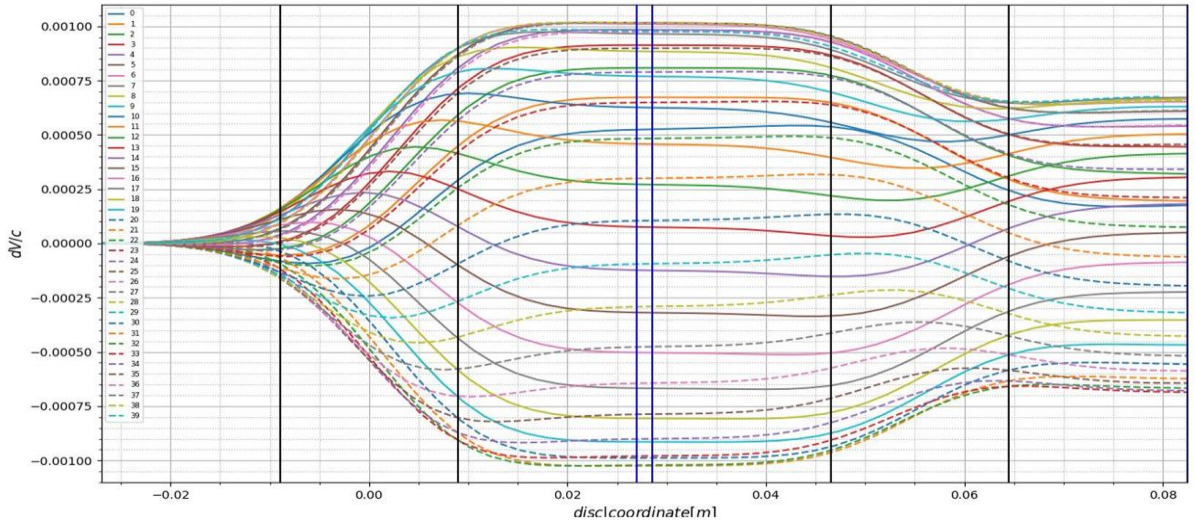


Рис. 2. График dv/c от z [m]- расчет программы KlyVI с фазами и ампл. напряжениями из программы VIDISK

По программе KlyVI график dv/c от z в метрах (см. рис. 2) для дисков в поле двух резонаторов и пересечений дисков (при расчете другими способами результат не изменяется). Черным на графиках обозначены границы ±1σ от центров резонаторов, синим- границы поля ±3σ. По графикам видно, что амплитуда модуляции скорости совпадает, однако ее поведение на выходе из резонатора незначительно различается.

В итоге проделанной работы создана программа KlyVI, моделирующая взаимодействие пучка с системой группировки, основанная на одномерной дисковой математической модели клистрона; показано качественное совпадение параметров группирования пучка, рассчитанных программой KlyVI, с результатами аналитической теории и программ AJDISK, VIDISK; продумана и реализована архитектура алгоритма вычислительного модуля; осознаны и реализованы в алгоритме далеко не все, но некоторые важные тонкости, связанные с математической моделью клистрона (т. е. деталями расчета).

В перспективе, при дальнейшем погружении в сложность и тонкости физической и математической моделей клистрона, программа будет развита и приобретет практическую ценность – будет использована для моделирования параметров проектируемых в ИЯФ клистронов, их предварительной оптимизации.

Список используемых источников

1. Науменко Е. Д. Клистроны. Москва: Советское радио, 1952.

2. Кацман Ю. А. Приборы СВЧ. Теория, основы расчета и проектирования электронных приборов. Москва: Высшая школа, 1983.

3. Иванов В. Я. Методы анализа, оптимизации и синтеза приборов физической электроники. 2016.

4. Гущин В. Е. Разработка одномерной математической модели мощного многорезонаторного клистрона / В. Е. Гущин // Тезисы XXIV Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям: Тезисы докладов, Красноярск, 23–27 октября 2023 года. Новосибирск: Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, 2023. С. 19. EDN HYTBXN.

5. Гущин В. Е. Разработка одномерной математической модели мощного многорезонаторного клистрона // Материалы 62-й Международной научной студенческой конференции, 2024. Т. МАТЕМАТИКА. С. 128

6. Jensen A., Fazio M., Neilson J., Scheitrun G. Developnig Sheet Beam Klystron Simulation Capability in AJDISK, SLAC-PUB-15879, 2002.

7. Байков А. Ю. Методы достижения предельных значений КПД в мощных вакуумных резонансных СВЧ приборах О-типа: дис.– Моск. физ. техн. ин-т (гос. ун-т), 2017.

8. Иванов В. Я., Хавин Н. Г. Численное решение уравнений движения релятивистских заряженных частиц в самосогласованном поле. Новосибирск, 1976. (Препринт/СО АН СССР. Вычислительный центр, №129). 20 с.

9. Vaughan J. R. The input gap voltage of a klystron // IEEE Transactions on Electron Devices. 1985. Vol. 32. № 11. P. 2510–2511.

10. Кацман Ю. А. Приборы СВЧ. Теория, основы расчета и проектирования электронных приборов. М.: Высшая школа, 1973.

DEVELOPMENT OF A ONE-DIMENSIONAL MATHEMATICAL MODEL OF A POWERFUL MULTI-RESONATOR KLYSTRON

Ivanov V., Gushchin V.
Budker Institute of Nuclear Physics,
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

It is advisable to use numerical and analytical models for the rapid design of the preliminary design of klystrons that are important for fundamental science (for example, the designs of the Super C-tau accelerator factory). However, most of them are not publicly available, so the INP SB RAS is developing a numerical analytical program based on a one-dimensional disk mathematical model of the klystron beam. To date, this program has calculated the linear grouping of the beam in a 2-resonator high-power klystron. A comparison is made and the qualitative coincidence of the calculation results of the developed author's KlyVI program with the analytical theory and modeling results of other programs is shown.

Key words: *klystron, microwave technology, 1D disk model, mathematical modeling*

УДК [004.622+004.627]:004.932
ГРНТИ 49.40.37

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРЯДКА БАЙТОВ ПРИ БИНАРИЗАЦИИ ЛАТЕНТНОГО ПРОСТРАНСТВА НА СТЕПЕНЬ СЖАТИЯ КАДРОВ FPV-ВИДЕОПОТОКА

Р. В. Киричек, А. А. Березкин, А. А. Ченский

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Нейросетевые кодеки используются для обеспечения высокой степени сжатия кадров видеопотока при управлении беспилотными воздушными системами от первого лица. В них широко используются вариационные автокодировщики, преобразующие исходные кадры видеопотока в пиксельном пространстве в тензоры латентного пространства признаков. Для передачи видеопотока по сетям связи необходимо преобразовывать латентное пространство пикселей в бинарную последовательность. В настоящей работе рассматриваются основные методы преобразования тензоров латентного пространства пикселей в бинарную последовательность и их влияние на степень сжатия полученной бинарной последовательности алгоритмом LZMA.

БВС, беспилотные воздушные системы, БАС, беспилотные авиационные системы, БПЛА, беспилотные летательные аппараты, вариационный автокодировщик, сжатие видеопотока, видеопоток, FPV-управление, управление от первого лица, преобразование тензора в байты, C, Fortran, нейросетевой кодек

Управление беспилотными воздушными системами (БВС) от первого лица (FPV-управление) требует обеспечения высокой степени сжатия кадров видеопотока. Для этого используются нейросетевые кодеки, позволяющие обеспечивать значительно большие степени сжатия, чем стандартные методы передачи видеопотока, такие как кодеки h264 и h265 [1-4]. В нейросетевых кодеках широко применяются вариационные автокодировщики. Они как правило состоит из кодера и декодера [1]. Кодер обеспечивает кодирование изображений в тензоры латентного пространства признаков (ЛПП), его квантование, преобразование в бинарную последовательность и последующее ее сжатие, а декодер – декомпрессию бинарной последовательности, восстановление тензора ЛПП, деквантование и декодирование тензора в изображение [1-2].

Настоящая работа посвящена одному из этапов работы нейросетевых кодеров, а именно преобразованию тензора ЛПП в бинарную последовательность. Ее целью является выявление их влияния на степень сжатия би-

нарной последовательности и нахождение наилучшего метода выполнения данного преобразования.

Методы преобразования структур данных тензоров зависят от использующихся языков программирования (ЯП) и программных библиотек. В настоящей работе предполагается ЯП Python 3.11, хранение тензоров ЛПП в структурах данных torch.Tensor библиотеки PyTorch версии 2.4.0, использование в некоторых промежуточных преобразованиях многомерных массивов numpy.ndarray из библиотеки numpy версии 2.0.1 Бинарные последовательности представляют собой стандартный тип данных bytes ЯП Python. Операционная система: Ubuntu 22.04.

В данной работе рассматривается только нейросетевой кодер (рис. 1) от нейросетевого кодека, основанного на вариационном автокодировщике KL-f16. Нейросетевой декодер не используется по причине возможности измерения степени сжатия латентного пространства без восстановления кадра видеопотока. Кадр в пиксельном пространстве (x) хранится в многомерном массиве numpy.ndarray. Затем он переводится в тензор PyTorch и кодируется KL-f16. На выходе кодера получается тензор ЛПП T размерности (1; 16; 32; 32) типа данных float16. После линейного (ЛИН) квантования он преобразуется в квантованный тензор ЛПП T^* той же размерности и типа данных uint8. Именно данный тензор и преобразуется в бинарную последовательность (b), которая затем сжимается алгоритмом LZMA и передается по сети связи к станции внешнего пилота (СВП).

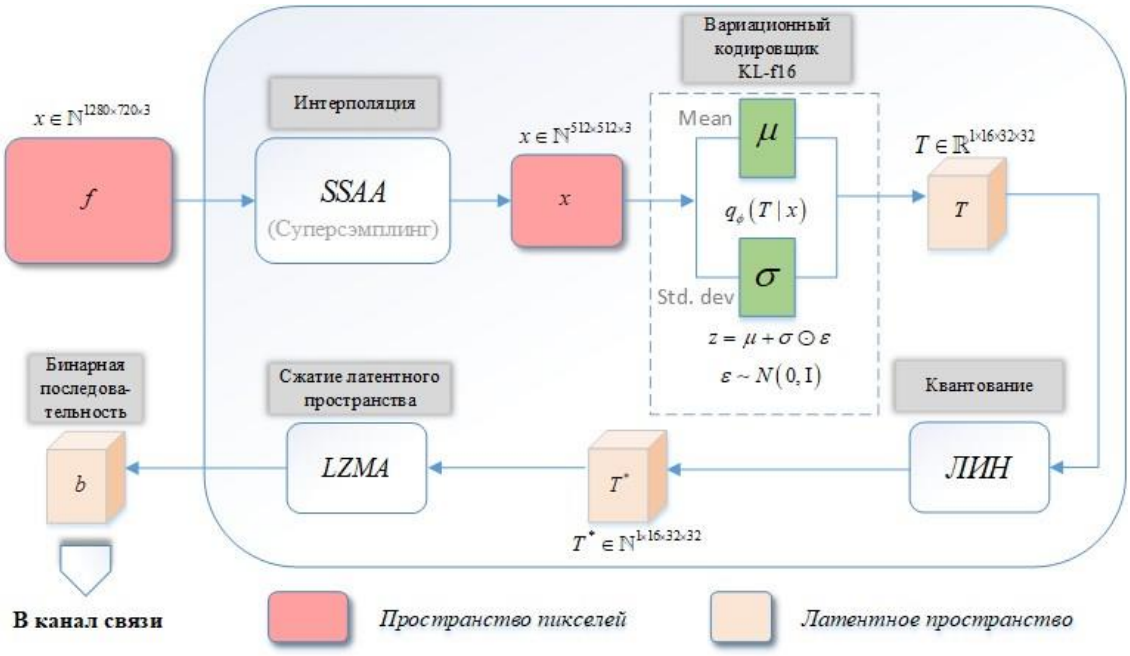


Рис. 1. Нейросетевой кодек

В рамках рассматриваемой реализации существует три основных способа преобразования тензора ЛПП PyTorch в бинарную последовательность bytes Python.

1. Использование функции torch.save для преобразования и torch.load для восстановления. Данный способ использует стандартную библиотеку для сериализации и десериализации Python pickle и позволяет проводить быстрое преобразование с сохранением исходного типа данных и размерности тензора. Его минусом, однако, является получение в результате дополнительного числа байт, связанного со структурой данных torch.Tensor.

2. Промежуточное преобразование в многомерные массивы numpy.ndarray и сохранение с помощью функции numpy.save. Соответствует первому способу, но дополнительное число байт связано уже со структурой numpy.ndarray.

3. Промежуточное преобразование в numpy.ndarray и последующее преобразование в бинарную последовательность методом tobytes с порядком ЯП C. Данный способ позволяет получить бинарную последовательность, размер которой равен сумме байт, необходимых для хранения значений в соответствующих структурах данных. В случае uint8-квантованных тензоров каждому значению соответствует один байт, а размер бинарной последовательности равен количеству значений. Минусом является то, что восстановление требует знания размерности и типа данных исходного тензора. При использовании нейросетевого кодека необходимо синхронизировать данные параметры на кодере, размещенном на БВС, и декодере, размещенном на СВП. Это требует либо заблаговременного задания определенной конфигурации, либо задействования протокола для синхронного динамического изменения конфигурации в рамках адаптивных систем сжатия и темпа поступления кадров [5].

4. Промежуточное преобразование в numpy.ndarray, но преобразование в бинарную последовательность методом tobytes уже с порядком ЯП Fortran (опциональный параметр функции tobytes order=’F’ [6]). Данный способ сохраняет все преимущества и недостатки третьего способа.

Языки C и Fortran имеют отличие в порядке хранения и индексации значений многомерных массивов (рис. 2). В ЯП C наиболее изменяющиеся значения индексируются последними, а в ЯП Fortran – первыми [7]. Порядку индексации соответствует порядок хранения байт значений в памяти. Последовательно хранятся байты значений последнего индекса, далее предпоследнего и так далее до первого.

```
>>> import numpy as np
>>> a = np.array([[1, 2], [3, 4], [5, 6]], dtype=np.uint8)
>>> b = a.tobytes(order='C')
>>> b.hex(' ')
'01 02 03 04 05 06'
>>> c = a.tobytes(order='F')
>>> c.hex(' ')
'01 03 05 02 04 06'
```

Рис. 2. Отличие в порядках C и Fortran

Для нахождения лучшего способа преобразования квантованных тензоров ЛПП T^* в сжатую бинарную последовательность b проводится четыре эксперимента. В каждом нейросетевой кодер настраивается на соответствующий способ. На вход нейросетевого кодека поступают кадры видеопотока с FPV-управления БВС. Затем измеряется размер бинарной последовательности *MSize* и вычисляется степень сжатия *CR* (1) [1].

$$CR = 100 \times \left(1 - \frac{MSize}{16384}\right)(\%) \quad (1)$$

Использующиеся кадры представляют собой изображения размерности 1080x720 из авторского набора данных (рис. 3), составленного из видео с испытаний Архипелаг 2024 на Сахалине путем равномерного извлечения 1000 кадров из всего видео по методике из [1-2].

Рис. 3. Примеры кадров авторского набора

Результаты экспериментов показали, что наилучшим способом преобразования в бинарную последовательность является третий, а именно через метод tobytes с порядком “C” (таблица 1). Методы torch.save и numpy.save основаны на C-порядке, но содержат дополнительную информацию, увеличивающую размер сжатой бинарной последовательности. Наихудшим является tobytes с порядком Fortran, что объясняется следованием байтов с меньшей изменчивостью в бинарной последовательности.

ТАБЛИЦА 1. Степени сжатия при различных способах преобразования

Способ преобразования	Средний размер бинарной последовательности, $MSize_{ср}$, Кб	Средняя степень сжатия ЛПП, $CR_{ср}$, %
Первый: torch.save	12,59	21,33
Второй: numpy.save	12,34	22,90
Третий: tobytes с порядком C	12,27	23,30
Четвертый: tobytes с порядком Fortran	13,82	13,64

Таким образом, при преобразовании в бинарную последовательность следует пользоваться одним стандартным методом: tobytes с порядком C. Впрочем, использование методов, основывающихся на pickle (torch.save, numpy.save), показывает близкий результат.

Научная статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1024032900105-1-2.2.4;2.2.5;2.2.6 в ЕГИСУ НИОКТР.

Список используемых источников

1. Ченский А. А., Берёзкин А. А., Киричек Р. В., Захаров А. А. Исследование методов латентного сжатия видеопотока при FPV управлении беспилотными системами // Электросвязь. 2024. N 6. С. 46-56.

2. Ченский А. А., Берёзкин А. А., Киричек Р. В., Захаров А. А. Исследование методов квантования латентного пространства вариационного автокодировщика для кадров FPV видеопотока. Часть I. // Электросвязь. 2024. № 6. С. 58-64.

3. International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T). H.264: Advanced video coding for generic audiovisual services (V14). 2021.

4. International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T). H.265: High efficiency video coding (V9). 2023.

5. Козлова А. И., Облаков Н. А., Березкин А. А. Анализ моделей предсказания кадров FPV-видеопотока в каналах информационного обмена беспилотных систем // 79-я научно-техническая конференция СПб НТО РЭС им. А. С. Попова, посвященная Дню

радио: сборник докладов региональной конференции, Санкт-Петербург, 22-26 апреля 2024 г., 2024. С. 170-173.

6. numpy.ndarray.tobytes // NumPy. URL: https://numpy.org/doc/stable/reference/generated/numpy.ndarray.tobytes.html (дата обращения 18.08.2024).

7. C vs Fortran memory order // VisItusers. URL: https://www.visitusers.org/index.php?title=C_vs_Fortran_memory_order (дата обращения 18.08.2024).

RESEARCH OF THE LATENT SPACE BINARIZATION BYTE ORDER INFLUENCE ON THE COMPRESSION RATIO OF FPV VIDEO STREAM FRAMES

Kirichek R., Berezkin A., Chenskiy A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Neural network codecs are used to provide a high degree of video stream frame compression for first-person control of unmanned aerial systems. Variational autoencoders are widely used in them, converting the original video stream frames in pixel space into latent space tensors. In order to transmit a video stream over networks, it is necessary to transform the latent pixel space into a binary sequence. This article reviews the main methods of converting latent space tensors into a binary sequence and their influence on the compression ratio of the binary sequence by the LZMA algorithm.

Key words: *UAV, unmanned aerial vehicle, variational autoencoder, video stream compression, video stream, FPV-control, first person view control, tensor to bytes compression, C, Fortran, neural network codec*

УДК 528.913
ГРНТИ 50.41.25

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОБНОВЛЕНИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА БАЗЕ OSM В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИЛАМИ И СРЕДСТВАМИ РЕАГИРОВАНИЯ

И. С. Ковалев, В. И. Ворончук, С. Б. Ногин, О. И. Пантюхин

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Обеспечение оперативного управления силами и средствами реагирования на различного рода происшествия во многом определяется актуальностью пространственных данных, используемых в соответствующей системе управления. При этом способы актуализации геоданных не всегда могут быть применимы в рамках существующих систем управления. В статье рассматривается один из подходов к периодическому обновления картографической информации.

геоинформационная подсистема, пространственные данные, обновление цифровой карты, алгоритм обновления картографической информации

Современная система оперативного управления силами и средствами реагирования (СОУССР), как правило, включает в себя ряд подсистем, в состав которых входит и геоинформационная подсистема.

Геоинформационная подсистема обеспечивает отображение оперативной обстановки на цифровой карте: места расположения подразделений пожарной охраны, характеристики подразделений (боевой расчет на текущие сутки), зоны ответственности подразделений, места происшествий, характеристики происшествия (включая используемую технику), завершенность происшествий (активное – неактивное), маршруты выдвижения техники от места дислокации и месту происшествия, объекты в соответствии с расписанием выездов и их основные характеристики, безводные участки, пожарные водоемы и гидранты.

В рамках подсистемы обеспечивается возможность создания происшествия с карты, поиска необходимого адреса или объекта на карте и ряд других функций. При этом в системе предусмотрено прямое и обратное геокодирование.

Для реализации указанных функций система должна обеспечивать доступ к актуальным пространственным данным.

Широкое использование геоинформационной подсистемы в повседневной работе пользователей СОУССР предъявляет повышенные требования к достоверности и особенно актуальности геоданных, которые используются в системе.

Существует три основных подхода к использованию пространственных данных в подобного рода системах: использование фонда пространственных данных (федеральный, ведомственный, обороны) [1], online-сервисы какой-либо картографической системы (например, Яндекс карты) либо использование автономных данных в базах данных самой системы.

Ведение фонда пространственных данных, в том числе включение в него пространственных данных и материалов, их хранение и предоставление заинтересованным лицам, осуществляется федеральным государственным учреждением, подведомственным соответствующему федеральному органу исполнительной власти [1].

Использование фонда пространственных данных при функционировании в системах оперативного реагирования вызывает ряд трудностей:

– актуальность данных. Данные в фонде обновляются не с требуемой для системы оперативного реагирования периодичностью;
– проблемы с адресными справочниками. Зачастую в фонде отсутствуют необходимые адресные данные;
– невозможно обеспечить хранение специфических пространственных данных (например, специфических слоев карты);
– невозможно самостоятельно вводить требуемую картографическую информацию в базы данных фонда;
– проблемы с доступом к данным (например, обрыв канала связи, отказ в обслуживании) и ряд других.

Использование online-сервисов картографической системы не всегда позволяет решить ряд задач, возникающих при функционировании системы управления реагированием:

– невозможно обеспечить хранение специфических пространственных данных (слоев карты) на базе используемой картографической системы. При этом в указанной системе может в принципе отсутствовать механизм взаимодействия с внешней информационной системой в части внесения данных;
– требуется канал связи (как правило Интернет) между двумя системами, что не всегда возможно для изолированных систем управления;
– также существует проблема актуализации пространственных данных.

Использование третьего подхода также сопряжено с рядом проблем при использовании пространственных данных:

– отсутствие кадров, которые должны сопровождать картографическую основу (цифровую карту);
– отсутствие на карте улиц (новых), на которой произошли происшествия;
– отсутствие на карте построек, в которых произошли происшествия;
– несоответствие улиц при обновлении, если уже был осуществлен ввод данных вручную;
– корректность ввода картографических данных;
– необходимость оперативной самостоятельной корректировки картографической информации и другие.

В тоже время в рамках данного подхода возможны: автономная работа (даже при отсутствии с каналом связи при централизованной услуге); самостоятельный ввод картографических данных (улиц, домов, районов, слоев карты и т.д.); привязки объектов к новым улицам и домам, что во многом позволяет решить проблему актуальности данных в текущий момент времени.

Отдельным вопросом стоит оплата соответствующих услуг.

В рамках данной статьи будем рассматривать изолированную (без доступа в Интернет) систему оперативного управления силами и средствами реагирования и ее геоинформационную подсистему.

Источником картографических данных в СОУССР является OpenStreetMap – некоммерческий веб-картографический проект по созданию силами сообщества участников-пользователей Интернета подробной свободной и бесплатной географической карты мира. При этом, в реляционной базе данных системы хранится как атрибутика, так и геометрия соответствующих объектов.

В общем, обновление цифровой карты – это технологический процесс, заключающийся в изменении цифровой картографической информации в цифровой карте, осуществляемый в связи с обновлением информационного обеспечения цифровой карты или актуализацией топографической информации [2].

В нашем случае под обновлением цифровой карты мы будем понимать периодическую актуализацию картографической информации в базе данных СОУССР, получаемую из обновленной версии OpenStreetMap с учетом специфики СОУССР.

В базе данных системы в общем случае хранится картографическая информация по следующим типам объектов: точечные, линейные (улицы), площадные (полигоны, зоны), многоточечные, мультилинейные, мультиполигонные.

По опыту применения основными проблемами при обновлении картографической информации в СОУССР являются:

– учет улиц, имеющие разрывы (в исходнике разные id);
– учет улиц, с одинаковыми названиями в разных районах города;
– учет улиц, с одинаковыми названиями в одном районе города;
– учет нескольких улиц с одинаковыми названиями, которые нужно сопоставить с данной улицей;
– учет улиц, которые не сопоставились с имеющимися в базе данных;
– учет улиц, ранее введенные вручную.
– привязка старых объектов к новому адресу.

Общий алгоритм обновления картографической информации в СОУССР:

– создание копии существующих адресных схем в базе данных системы;
– перенос актуальных данных из OpenStreetMap в новую схему базы данных: (загрузка данных OpenStreetMap, в формате *.shp со страницы странице проекта NextGIS Data), парсинг данных и загрузка в базу данных с использованием утилит ogr2ogr и osm2pgsql);
– формирование в новой схеме базы данных таблицы с данными, которые были ранее внесены вручную;
– сопоставление старых и новых адресные данные (выявление дубликатов и несопоставленных объектов). Дубликаты удаляются. Появление несопоставленных объектов означает либо появление новых улиц, либо некорректную работу скриптов по переносу данных (например, слишком маленький размер параметра разрыва улицы и т.п.). Далее осуществляется ручное сопоставление несопоставленных объектов;
– формирование зон ответственности подразделений в соответствии с новой схемой адресных данных;
– привязка координат подразделений реагирования к новым адресным данным;
– формирование графа дорог по новым адресным схемам и пересчет расположения ближайших подразделений по графу дорог.

В результате реализации указанного алгоритма в базе данных СОУССР формируется актуальная на текущий момент адресная информация, которая в дальнейшем используется для организации реагирования на различные происшествия.

Список используемых источников

1. Федеральный закон "О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 30.12.2015 N 431-ФЗ.
2. ОСТ 68-13-99 Виды и процессы геодезической и картографической производственной деятельности. Термины и определения.

SOME ASPECTS OF UPDATING CARTOGRAPHIC INFORMATION BASED ON OSM IN THE SYSTEM OF OPERATIONAL CONTROL OF FORCES AND RESPONSE MEANS

Kovalev I., Voronchuk V., Nogin S., Pantyukhin O.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

Ensuring operational control of forces and means of response to various types of incidents is largely determined by the relevance of spatial data used in the corresponding control system. At the same time, methods for updating geodata may not always be applicable within the framework of existing control systems. The article considers one of the approaches to periodic updating of cartographic information.

Key words: *geoinformation subsystem, spatial data, digital map updating, cartographic information updating algorithm*

УДК 004.896
ГРНТИ 28.23.35

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Л. П. Козлова, О. А. Козлова, Н. Р. Якубова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Современная жизнь не представляется без использования информационных систем, помогающих находить верный результат, имея некоторые исходные данные. Действительно, системы принятия решений, на сегодняшний день, функционируют во всех сферах человеческой деятельности. Сложность заключается в том, что алгоритмы, использовавшиеся несколько лет назад, дают достаточно высокий процент ошибочных значений. Для увеличения точности применяются методы искусственного интеллекта. В статье рассмотрены их достоинства и недостатки.

интеллектуализация, алгоритм, система принятия решений

Высокая степень интеллектуализации – необходимое условие эффективности современного технологического процесса. Действительно, реальные системы в состоянии самостоятельно выявлять входные параметры и текущее состояние, а, соответственно и формировать управляющее воздействие даже в случае значительной неопределенности.

Для реализации таких возможностей применяются различные методы искусственного интеллекта. В частности, одной из обязательных составляющих является формирование экспертной системы, которая будет включать в себя актуальные данные.

Смысл экспертной системы заключается в том, что она замещает специалистов предметной области в случае, когда необходимо принять решение по имеющимся предпосылкам.

Если вникать в суть построения такой системы, то первично, естественно, представляется некое хранилище информации, к примеру, база данных, которое сравнивает входные параметры с заложенными внутрь системы и, при обнаружении идентичности, выдает итоговый результат. Однако простой, на первый взгляд, механизм, имеет ряд сложностей, среди которых выделим следующее:

– любая система, относящаяся к технологическому процессу и требующая экспертных заключений, подпадает под понятие сложной системы, а зна-

чит, включает в себя множество параметров, которые противоречат друг другу, не позволяя сформировать детерминированный алгоритм;
– даже в случае идентичных ситуаций, в задачу могут вмешиваться внешние факторы, из-за которых выработанные решения будут отличаться;
– предпосылки, характеризующие задачи, могут иметь показатели, имеющие незначительные, на первый взгляд отличия, однако, в реальных обстоятельствах, требующие разного подхода.

Все эти аспекты делают задачу формирования автономного технологического процесса плохо формализованной.

С другой стороны, реальный эксперт, обладающий достаточной квалификацией, может быть элементарно недоступен, тогда как экспертная система, в большинстве случаев, таких препятствий не имеет.

Основной задачей при проектировании экспертных систем ставится формирование алгоритмов, которые обладали достаточной аналитикой, чтобы можно было их отнести к системам, включающим в себя элементы искусственного интеллекта.

Для того чтобы рассмотреть их более детально, для начала обратим внимание на общую структуру экспертной системы, которая представлена на рисунке 1.

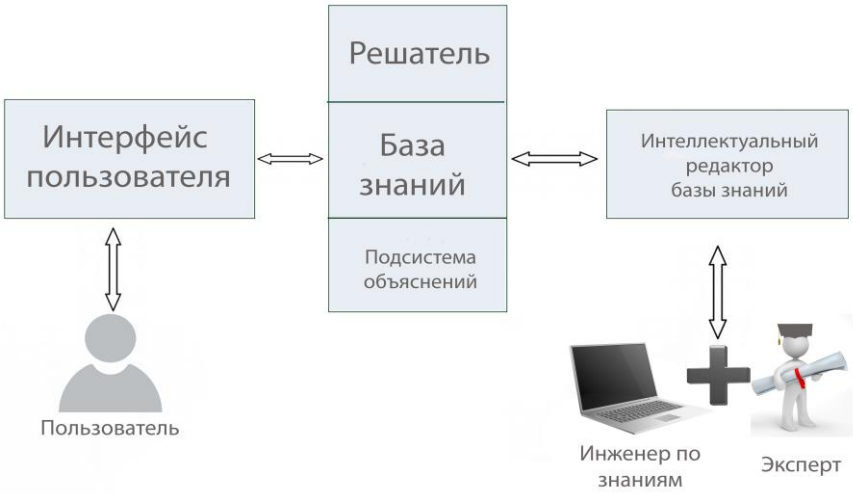


Рис. 1. Общая структура экспертной системы

Как видно из приведенной схемы, в самой структуре экспертной системы человек задействован в нескольких вариантах.

В случаях, когда система предполагает взаимодействие не только с другими частями технологического процесса, но и со специалистами предметной области, то нельзя обойти вниманием пользователя, который может обладать знаниями в интересующей его области, варьирующимися от 0 % до

100 %, т.е. быть как профессионалом, так и не иметь знаний вообще. К тому же, человек интерпретирует имеющиеся у него данные исходя из своего восприятия, а значит, в систему будет вводить соответствующим образом.

С другой стороны, в имеющихся начальных данных может отсутствовать важная информация, необходимая для корректного результата.

Еще одной проблемой при вводе первичной информации может оказаться необходимость наличия определенного формата имеющихся данных.

Другим человеческим фактором, представленным в системе, являются инженер по знаниям и эксперты.

Эксперт – это человек, обладающий достаточной квалификацией, для внесения первичной информации в экспертную систему. Именно он отвечает за исходные эталоны, по которым будет происходить поиск.

Тут вопрос может проявиться в том, что, во-первых, эксперт – это человек, а, значит, тоже интерпретирует свои знания в соответствии со своим восприятием; а во-вторых, у разных экспертов может быть разный взгляд на одну и ту же задачу.

И, наконец, человек, который отвечает за внесение знаний экспертов в систему – эксперт по знаниям.

К отдельной категории, не показанной на схеме, относятся разработчики экспертной системы. Именно они формируют внутренние алгоритмы, которые управляют потоками информации, формирующимися в системе.

Важной частью информационной системы служит интерфейс пользователя, который предполагает следующие обязательные параметры:

– внешнее отображение системы должно быть интуитивно понятным. Действительно, реальные задачи предполагают использование экспертных систем во всех областях человеческой деятельности, а значит, к пользователю предъявляются минимальные требования по умению работать с программами и приложениями;
– система должна позволять введение всех возможных форматов, которые будут представлять начальные данные;
– возможности пользователя должны быть ограничены постановкой его задач, чтобы минимизировать возможности человеческого фактора.

Для того, чтобы сделать интерфейс пользователя активным, современные системы заменяют понятие «объект» на понятие «агент».

Агент предполагает в себе следующие составляющие:

– свойства объекта;
– методы, которые позволяют влиять на свойства, изменяя объект так, что он может реагировать на событийный ход развития;

– внутренние методы, которые позволяют самостоятельно объекту собирать информацию, тем самым производя действия.

Последний пункт определяет отличие агента от объекта, давая возможность не только событийного реагирования, но и расширения или изменения своих характеристик для более эффективного взаимодействия с пользователем.

В общем смысле классифицировать современные системы можно как одноагентные и мультиагентные.

Интерфейс пользователя взаимодействует с базой знаний через механизм логического ввода, который очень важно создавать с использованием элементов искусственного интеллекта, для эффективности системы.

Суть данного алгоритма – формирование набора правил, необходимых для обработки и интерпретирования информации, введенной пользователем.

Другая сторона системы представлена интеллектуальным редактором базы знаний, который предоставляет диалоговый режим инженеру по знаниям для интерпретации полученных от эксперта данных.

И, наконец, в центре системы находится база знаний, для эффективности работы которой необходимо учитывать следующие правила:

– количество объектов в базе не является зафиксированным на протяжении всего цикла жизни системы. Таким образом, в любой момент времени может добавиться новый или удалиться не актуальный объект;
– устаревший объект может претерпеть изменения с целью актуализации, для чего в системе присутствуют соответствующие алгоритмы, позволяющие редактирование его характеристик;
– в системе должны быть прописаны правила воздействия на объекты, хранящиеся в базе знаний.

Типизировать процесс формирования данной части экспертной системы не представляется возможным, а, значит, неизбежно возникновение следующих сложностей:

– необходимы алгоритмы, позволяющие отличать объекты даже в тех случаях, когда характеристики между ними носят практически идентичный характер;
– ошибки и неточности могут быть внесены в систему из-за человеческого фактора;
– необходимо решать вопрос, какие отклонения, при сравнении исходных параметров с эталонными, будут считаться адекватными для результата;
– в случае часто изменяющегося объекта необходимо вносить границы, как часто можно менять эталонное значение [1].

Как видно из вышесказанного, во всех частях экспертной системы, обладающей признаками искусственного интеллекта, одной из главных сложностей является неточность, вытекающая из разных предпосылок.

Вариантом решения преодоления данной проблемы может стать использование алгоритмов нечеткой логики.

К основным принципам тут отнесем следующую последовательность:

– фаззификция, которая заключается во внесении лингвистической переменной, выражающейся в лексических терминах, и предполагающая расстояние для алгоритма;
– используя внесенную степень принадлежности, происходит перерасчет исходных объектов, который позволяет соотнести каждый объект со всеми выделенными признаками, но с учетом их принадлежности к ним;
– дефаззификация, позволяющая из вариативных значений выбрать то, которое будет использоваться в данном конкретном случае [2].

Экспертные системы могут во многом улучшить функционирование технологического процесса. Сложность остается в том, что до сих пор существует достаточно проблем, связанных с внедрением интеллектуализации. Основным тут является вопрос: насколько полученный результат адекватен реальному. Тем не менее, современные алгоритмы совершенствуются, позволяя добиться оптимальных результатов.

Список используемых источников

1. Kozlova Lyudmila P., Belov Aleksandr M., Kozlova Olga A. The Use of Neural Networks for Planning the Behavior of Complex Systems. Trudy konferencii rossijskih molodyh issledovatelej v oblasti elektrotekhniki i elektroniki(2018EIConRus) [Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)]. Saint Petersburg, Russia, PP. 902-904. (In Russian). DOI: 10.1109/EIConRus.2018.8317234 (In Russia).

2. Kozlova O.A. Kozlova L.P. Robots can see // Isvestia SPbGTU [News SPbEtU] St. Petersburg. 2009. № 10. PP. 47-50.

INTELLECTUALIZING TODAY'S DECISION-MAKING SYSTEMS

Kozlova L., Kozlova O., Yakubova N.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Modern life is not presented without the use of information systems that help to find the right result, having some initial data. Indeed, decision-making systems, today, function in all spheres of human activity. The difficulty lies in the fact that the algorithms used several years ago give a fairly high percentage of erroneous values. To increase accuracy, artificial intelligence methods are used. The article examines their advantages and disadvantages.

Key words: *intellectualization, algorithm, decision-making system*

УДК 006.44
ГРНТИ 84.01.11

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Л. П. Козлова, О. А. Козлова, Н. Р. Якубова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

До недавнего времени в РФ в основном закупалась и эксплуатировалась зарубежная вычислительная техника и программное обеспечение, поэтому интереса к стандартам в сфере информационных технологий в этой области не разрабатывалось. Однако, отсутствие в течение длительного времени необходимости в разработке отечественных ИТ-стандартов в свою очередь привело к тому, что они морально устарели.

Стоит отметить, что на современном этапе рассматриваются инновационные подходы к стандартизации в области цифровизации.

стандартизация, информационные технологии, цифровизация

Стандарты в области информационных технологий начали разрабатываться в России начиная с 1990-х годов, многие из которых на сегодняшний день морально устарели. Отдельные идеи и направления включили во вновь разработанные стандарты, при этом не сохранив целостности и связи с предшествующими.

Распоряжением правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 года № 1362-р утверждена программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [1], в которой поставлены задачи в области эффективного применения информационных технологий (ИТ) в развитии страны, применяющихся практически во всех сферах деятельности.

Очень важно, чтобы ИТ-стандарты разрабатывались на основе международных стандартов.

До 2022 года технические комитеты, разрабатывающие стандарты в области ИТ, сотрудничали с международными организациями, такими как: Международная организация по стандартизации – ИСО (International Organization for Standardization – ISO), Международная электротехническая комиссия – МЭК (International Electrotechnical Commission – IEC) и Международный союз электросвязи – МСЭ (International Telecommunication Union – ITU). Начиная с 1987 года ИСО и МЭК объединили свою деятельность по разработке стандартов в области ИТ, создав технический комитет № 1 –

СТК1 ИСО/МЭК «Информационные технологии» (Joint Technical Committee N1 – ISO/IEC JTC1 Information Technology) который разработал базовые стандарты по ИТ вне зависимости от конкретных сфер деятельности.

На сегодняшний день в соответствии с общероссийским классификатором стандартов ОК 001–2021 (ИСО МКС), введенного в действие 1 января 2022 года, определены 15 групп в сфере ИТ, которые приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Группы стандартов в области ИТ в соответствии с классификатором стандартов ОК 001–2021

Код	Группа	Количество стандартов
35.02	Информационные технологии (ИТ) в целом	258 ПНСТ - 63
35.03	Безопасность ИТ	2 ПНСТ - 1
35.04	Кодирование информации	254 ПНСТ - 5
35.06	Языки, используемые в информационных технологиях	16
35.08	Программное обеспечение	125 ПНСТ - 2
35.1	Взаимосвязь открытых систем	198
35.11	Организация сети	14 ПНСТ - 12
35.14	Компьютерная графика	4
35.16	Микропроцессорные системы	40 ПНСТ - 4
35.18	Информационно-технологические терминалы и другие периферийные устройства	19
35.2	Интерфейсы и межсоединительные устройства	34
35.21	«Облачная» обработка данных	2
35.22	Запоминающие устройства	14
35.24	Применение информационных технологий	594 ПНСТ - 77
35.26	Машины конторские	18

На базе международных стандартов в РФ принято около 500 межгосударственных (ГОСТ), государственных стандартов (ГОСТ Р) и предварительных национальных стандартов (ПНСТ), которые определяют термино-

логию, электрическую и механическую безопасность и электромагнитную совместимость средств вычислительной техники (СВТ), языки программирования, организацию работы систем и сетей, оценку качества и документирование программных средств, требования к автоматизированным системам и документирование их создания, системы кодирования и защиты информации, организацию взаимосвязи открытых систем (ВОС) и профилей, качество служебной информации, компьютерное сопровождение и поддержку жизненного цикла наукоемкой продукции (CALS-технологии). Всего ИТ-стандартов составляет 1753.

Хочется отметить, что большая часть ПНСТ – это стандарты разработанные на базе международных.

С одной стороны, за последние несколько лет разработан ряд ГОСТ, ГОСТ Р и ПНСТ по ИТ в областях: мобильного приложения (277 стандартов), безопасного программного обеспечения (1 стандарт), проектирования и обслуживания инженерной инфраструктуры дата-центров в РФ (2 стандарта), защиты информации (2 стандарта).

С другой стороны, в связи с затягиванием утверждения новых стандартов в области ИТ приводит к тому, что страдают некоторые сферы деятельности. Так, например, отсутствие стандартов в дорожно-транспортной области невозможно полноценно внедрить интеллектуальные транспортные системы (ИТС). Проблемой внедрения таких стандартов связано с тем, что требуется разработать представительные тестовые наборы данных, позволяющих унифицировать испытания алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) и обеспечивающих доверие к их результатам.

Начиная с 2019 года, большое внимание уделяется субтехнологиям промышленного интернета, которые можно подразделить на: сенсорное оборудование, сети связи, платформы промышленного интернета, вычислительную технику для функционирования платформ интернета вещей и средств визуализации и человеко-машинного взаимодействия.

Разработанные стандарты регулируют вопросы терминологии и референтных (типовых) архитектур.

Начиная с 2021 года, вступает в действие ряд стандартов в сфере больших данных (Big data).

В таблице 2 приведены принятие дополнительные единицы количества информации, которые внесены в обновленный ГОСТ 8.417-2024 [2] от 30 сентября 2024 года на основании [3].

ТАБЛИЦА 2. Дополнительные единицы количества информации

Множитель	Приставка	Обозначение	Полное название	Происхождение
2^{10}	киби	Ki (Ки)	килобинарный: $\left(2^{10}\right)^1$	кило: $\left(2^{10}\right)^1$
2^{20}	меби	Mi (Ми)	мегабинарный: $\left(2^{10}\right)^2$	мега: $\left(2^{10}\right)^2$
2^{30}	гиби	Gi (Ги)	гигабинарный: $\left(2^{10}\right)^3$	гига: $\left(2^{10}\right)^3$
2^{40}	теби	Ti (Ти)	терабинарный: $\left(2^{10}\right)^4$	тера: $\left(2^{10}\right)^4$
2^{50}	пеби	Pi (Пи)	петабинарный: $\left(2^{10}\right)^5$	пета: $\left(2^{10}\right)^5$
2^{60}	эксби	Ei (Эи)	экзабинарный: $\left(2^{10}\right)^6$	экза: $\left(2^{10}\right)^6$
2^{70}	зеби	Zi (Зи)	зеттабинарный: $\left(2^{10}\right)^7$	зетта: $\left(2^{10}\right)^7$
2^{80}	йоби	Yi (Йи)	йоттабинарный: $\left(2^{10}\right)^8$	йотта: $\left(2^{10}\right)^8$

Таким образом, можно увидеть прогрессивное движение разработки и внедрения стандартов в области информационных технологий.

Применение ИТ-стандартов в ряде случаев позволит:

– - для высокотехнологического оборудования, которое включает в себя аппаратную и программную части, обеспечить интероперабельность;
– - обеспечить интеграцию с действующими системами.

Список используемых источников

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р «Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Официальный интернет-портал правовой информации: http://www.pravo.gov.ru, 2017. 73 с.

2. ГОСТ 8.417-2024 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. М.: Изд-во Российский институт стандартизации, 2024. 20 с.

3. Международная система единиц СИ (брошюра СИ). Издание 9-е, 2019, Версия 2.01. Декабрь 2022 (МБМВ, Севр, Франция). 100 с.

CURRENT INFORMATION TECHNOLOGIS STANDARDIZATION TRENDS

Kozlova L., Kozlova O., Yakubova N.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Until recently, foreign numerical equipment and software were mainly purchased and operated in the Russian Federation, so there was no interest in standards in the field of information technology in this area. However, the absence for a long time of the need to develop domestic IT standards, in turn, led to the fact that they are morally outdated. It should be noted that innovative approaches to standardization in the field of digitalization are being considered at the present stage.

Key words: *standardization, information technology, digitalization*

УДК 004.75
ГРНТИ 20.53.19

РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА

С. А. Константинов, В. Е. Бобровский, М. А. Швалев

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье рассматривается разработка web-приложения организации, занимающегося проведением экспериментов и фиксацией связанных с ними данных, с целью предоставления возможности быстрого и удобного способа сохранения результатов экспериментов, а также их последующей обработки путем разработки web-приложения. Осуществлен анализ используемых программных решений, спроектированы структурные и функциональные модели системы, описаны результаты разработки серверной и клиентской части web-приложения.

web-приложение, эксперименты, react, laravel, javascript, typescript, php

Необходимость разработки web-приложения обоснована использованием сотрудниками научно-исследовательского центра разных подходов к хранению данных в рамках экспериментов и исследований: некоторые сохраняют информацию локально на своих компьютерах, в то время как другие предпочитают использовать облачные хранилища, что приводит к сложностям в доступе к данным и их актуализации.

В качестве рассматриваемых программных решений, которыми активно пользуются сотрудники лаборатории, были выбраны: Microsoft Excel, Google Sheets и Яндекс.Таблицы. Определены критерии для анализа существующих программных решений (таблица 1). Определено, что используемые программы не имеют валидации данных, что усложняет обработку информации (например, возможно дублирование данных). Google Sheets и Яндекс.Таблицы, хоть и поддерживают совместную работу, неудобны, так как создателю таблицы нужно каждый раз делиться ссылкой для просмотра введенных данных, что отнимает много времени при большом количестве таблиц.

ТАБЛИЦА 1. Сравнительный анализ существующих программных решений

Критерий оценки	Microsoft Excel	Google Sheets	Яндекс Таблицы
Удобный интерфейс	+	+	+
Возможность бесплатного использования	-	+	+
ПО российского производства	-	-	+
Возможность работы с любого устройства	-	+	+
Наличие богатого функционала	+	-	-
Наличие встроенной валидации данных	-	-	-
Возможность совместной работы	-	+	+

Исходя из анализа определено, что приложение должно обладать функционалом для поиска исследований с фильтрацией, добавления и редактирования экспериментов, управления пользователями (добавление, удаление, изменение ролей), экспорта данных для обработки и адаптивным дизайном для различных устройств, а также обеспечивать надежную защиту информации, включая аутентификацию пользователей перед доступом к аккаунту и контроль доступа, позволяющий пользователям просматривать публичные исследования и исследования, где они участвуют, а администраторам управлять списком пользователей (добавление или удаление).

Для разработки серверной части web-приложения выбран язык программирования PHP [1] вместе с фреймворком Laravel. Для разработки клиентской части приложения использованы такие средства, как HTML, CSS, TypeScript [2], React. В качестве системы управления базами данных (СУБД) для web-приложения выбран PostgreSQL [3].

Также для разработки клиентской части web-приложения использованы Vite (для оптимизированной сборки и горячей перезагрузки), Axios (для HTTP-запросов), Tanstack Router (для маршрутизации в React-приложениях), Tanstack Query (для управления серверным состоянием) и Mantine (для создания пользовательских интерфейсов).

Архитектура приложения отражена на рис. 1.

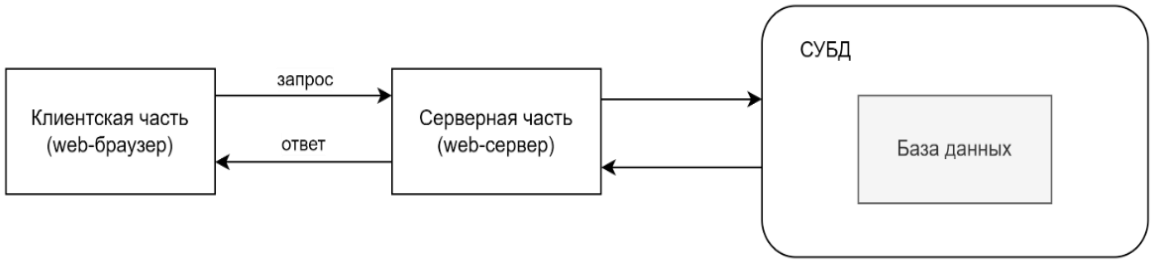


Рис. 1. Архитектура web-приложения

Процесс проектирования осуществлялся с помощью построения графических диаграмм на языке UML. Модели, которые были построены в ходе работы:

– диаграмма вариантов использования (рис. 2);
– диаграммы последовательности (рис. 3);
– диаграмма базы данных (рис. 4).

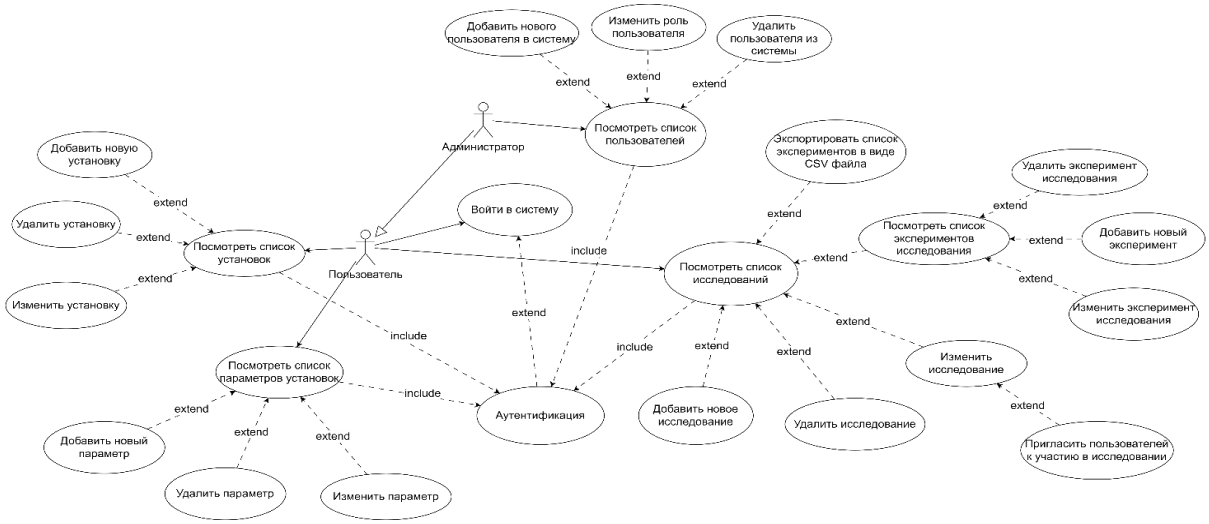


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования web-приложения

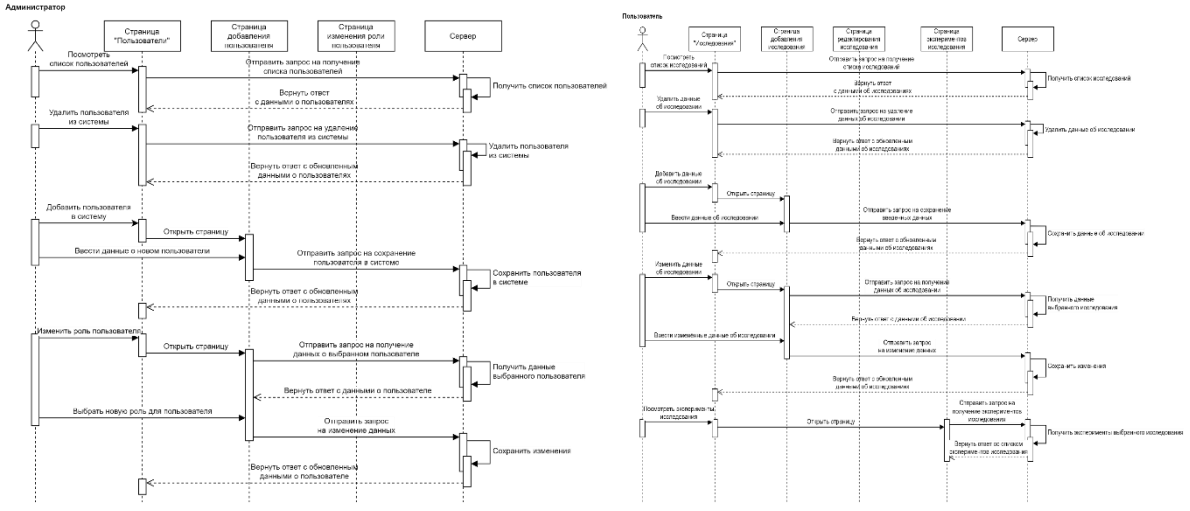


Рис. 3. Диаграмма последовательностей «Посмотреть список пользователей» и «Посмотреть список исследований»

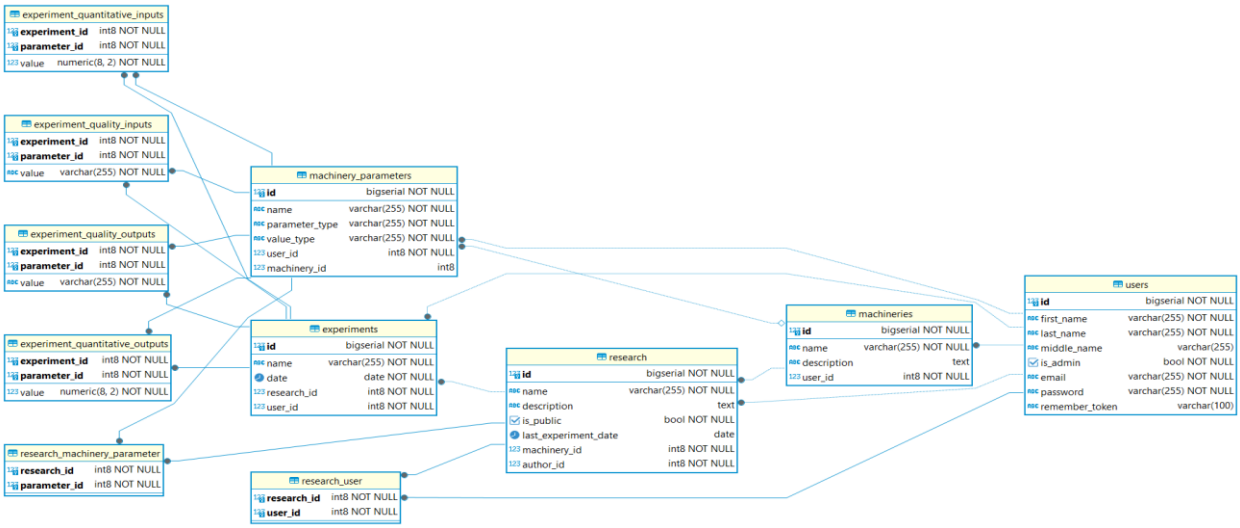


Рис. 4. Диаграмма базы данных в СУБД PostgreSQL

В качестве подхода для разработки клиентской части и для отзывчивости web-приложения выбран Single Page Application – тип клиентского web-приложения, которое загружает единственный HTML-документ и динамически обновляет содержимое страницы по мере взаимодействия пользователя с приложением.

Web-приложение предполагает наличие администраторов и участников исследования (пользователей). Прежде, чем добавить нового пользователя в систему, администратор должен убедиться в наличии соответствующих прав, после чего войти в систему, введя электронную почту и пароль. Перейдя на страницу, «Пользователи» через навигационную панель, администратор увидит список пользователей и нажмет кнопку «Добавить пользователя», заполнив форму с данными нового пользователя (рис. 5). После добавления пользователь получит письмо с паролем (рис. 6).

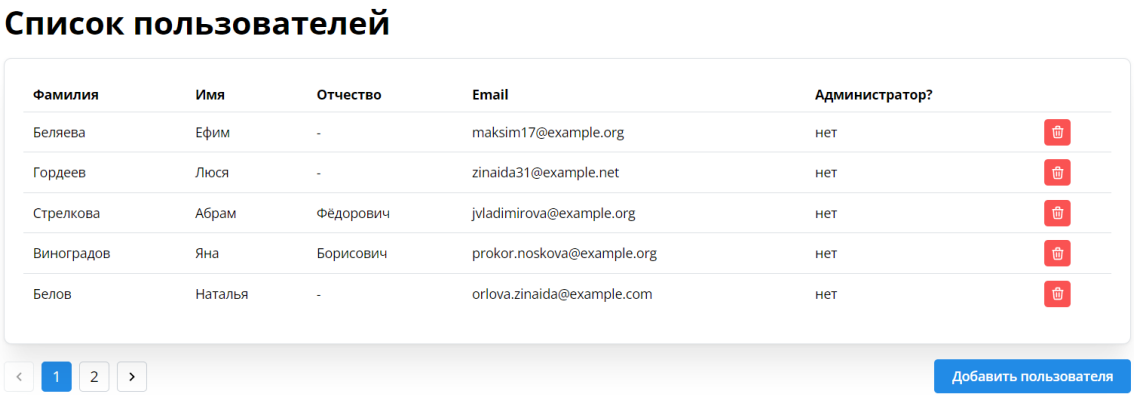


Рис. 5. Страница со списком пользователей

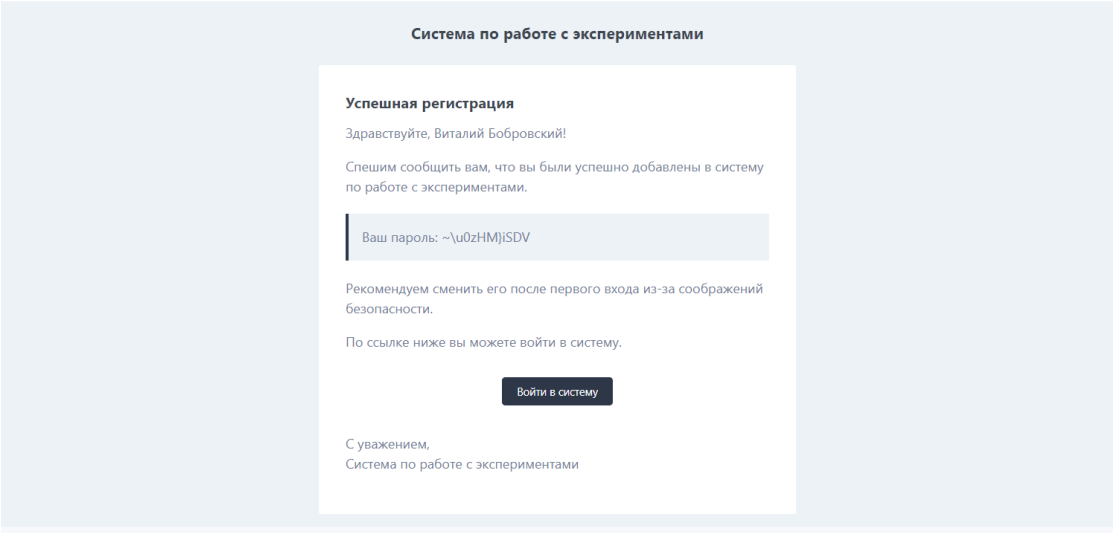


Рис. 6. Электронное письмо, уведомляющее пользователя о добавлении в систему

Для создания нового исследования пользователь переходит на страницу «Исследования», нажимает кнопку «Добавить новое исследование» (рис. 7), заполняет форму с необходимыми данными (рис. 8), выбирает видимость исследования (публичное или частное).

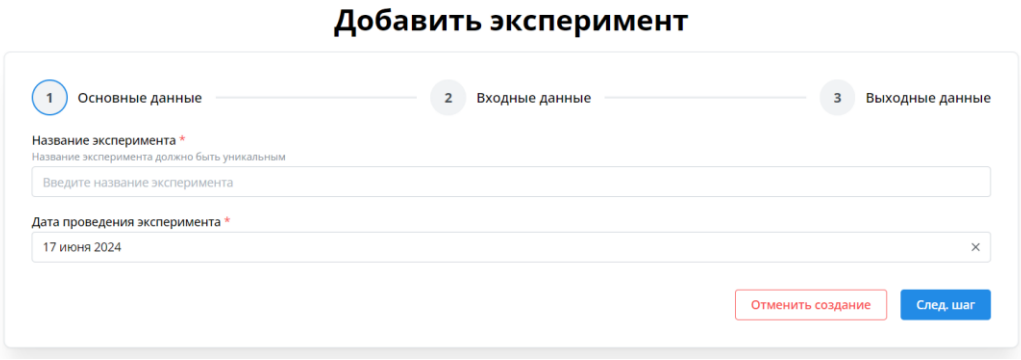


Рис. 7. Форма добавления эксперимента с полями основной информации

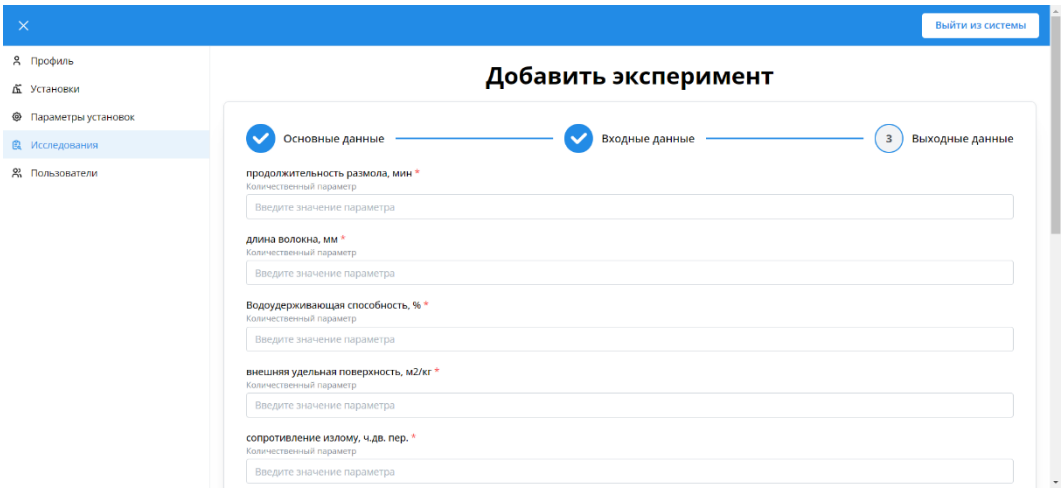


Рис. 8. Форма добавления эксперимента с полями выходных данных

Администратор или участник исследования могут просматривать, добавлять и редактировать эксперименты, а также экспортировать их в формат CSV.

Разработанное web-приложение удовлетворило требование заказчиков и внедрено в работу научно-исследовательского центра Военной академии связи.

Список используемых источников

1. Колисниченко Д. Н. PHP и MySQL. Разработка веб-приложений / Д.Н. Колисниченко. БХВ-Петербург. М., 2022. 344 с.

2. Чёрный Б. Профессиональный TypeScript. Разработка масштабируемых JavaScript-приложений / Б. Чёрный. СПБ.: Питер, 2022. 352 с.

3. PostgreSQL. Разработка баз данных: Учебник / М. Ф. Ванина, А. Г. Ерохин, Н. В. Тутова [и др.]. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2023. 228 с.

DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR A RESEARCH CENTER

Konstantinov S., Bobrovskiy V., Shvalev M.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The article deals with the development of web application of an organization engaged in conducting experiments and fixing related data in order to provide a quick and convenient way to save the results of experiments, as well as their subsequent processing by developing a web application. The analysis of used software solutions is carried out, structural and functional models of the system are designed, the results of development of server and client parts of the web application are described.

Key words: *web application, experiments, TV, react, laravel, javascript, typescript, php*

УДК 004.93'1
ГРНТИ 28.23.15

АНАЛИЗ ОТКРЫТЫХ НАБОРОВ ДАННЫХ ОКТ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ТЕСТИРОВАНИЯ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

А. В. Красов[1], Л. Е. Аксенова[2,3],

[1]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича
[2]ООО Пространство интеллектуальных решений, г. Новороссийск
[3]Кубанский государственный технологический университет

На сегодняшний день широкое распространение получили системы на основе технологий искусственного интеллекта для анализа медицинских данных. Такие системы обучаются на размеченных наборах данных. Авторами были проанализированы имеющиеся в открытом доступе наборы данных ОКТ изображений, в результате чего было получено 14 наборов, размеченных относительно 17 патологий и нескольких областей интереса.

наборы данных, оптическая когерентная томография, машинное обучение, классификация, сегментация, офтальмология

В виду развития технологий, а также накопления данных, полученных с диагностических приборов, появляется все больше исследований, показывающих возможность автоматизировать процесс скрининга, диагностики, а также прогнозирования различных состояний пациента [1-3]. Для этого применяются различные методы машинного обучения, которые являются подмножеством методов искусственного интеллекта (ИИ) [4]. Диагностика, то есть определение вероятности наличия конкретного заболевания, способствует своевременному направлению пациентов на дальнейшие обследования, раннему началу лечения или, наоборот, исключению серьезных причин для беспокойства. Прогностическая информация может использоваться для планирования образа жизни или профилактических мероприятий, основанных на риске развития определенного исхода или состояния здоровья в течение определенного периода.

Оптическая когерентная томография (ОКТ) – это метод визуализации в области офтальмологии, который позволяет распознать структуры сетчатки и аналогичен ее гистологическому отображению. Данный метод позволяет обнаружить поперечные структуры сетчатки и их патологические изменения и используется в клинической диагностике [5]. С развитием технологий

глубокого обучения все больше и больше исследований позволяют проводить скрининг заболеваний сетчатки и компьютерную диагностику путем сочетания ОКТ-визуализации и технологии глубокого обучения [6-8].

Применение искусственного интеллекта и, в частности, машинного обучения, к ОКТ изображениям сетчатки, в основном затрагивает решение 3х типов задач: классификации, сегментации и прогнозирования [9]. Для разработки моделей машинного обучения требуются размеченные наборы данных. Если задачей, которую должна выполнять модель, является классификация, используют бинарную (норма/патология) либо мультиклассовую (различные типы или стадии заболевания) разметку данных. Если модель предполагается использовать для сегментации или детекции, разметка включает выделение областей интереса.

Для разработки и тестирования опытного образца программного комплекса для автоматизированного анализа ОКТ изображений, а также оценки наличия заболеваний сетчатки, нами были проанализированы имеющиеся в открытом доступе наборы данных. Поиск осуществлялся с помощью таких ресурсов как Google search, ChatGPT, а также в известных репозиториях данных: Kaggle (https://www.kaggle.com), Mendeley (https://data.mendeley.com), Borealis (https://borealisdata.ca), SpringerNature (https://springernature.figshare.com).

Нами было получено 14 наборов данных, включающих изображения ОКТ в форматах .jpeg, jpeg, .png, .tiff, MATLAB, .jpg. Основная часть исследований выполнена с использованием приборов компании Heidelberg Engineering (например, Spectralis OCT, SD-OCT), что указывает на их высокую популярность и универсальность. Также отмечается использование приборов других производителей, таких как Zeiss Cirrus, Bioptigen и Optovue.

Типы задач для маркировки данных в рамках отдельных наборов включали классификацию, сегментацию и комбинированные методы (классификация/сегментация). Большинство исследований фокусируются на макулярной области. Разметка данных включала разделение изображений на классы. Классом, который наиболее часто встречался в наборах являлось такое заболевание как возрастная макулярная дегенерация. Кроме того, в наборах данных также были представлены случаи выделения областей интереса – сегментации таких структур, как: друзы, жидкость, слои сетчатки, макулярное отверстие и хороид. В таблице 1 приведены данные, полученные в результате анализа открытых наборов данных.

ТАБЛИЦА 1. Описание наборов данных ОКТ

Ссылка	Прибор	Тип разметки	Классы	Области интереса	Формат данных	Количество данных (B-scan)	Режим сканирования	Год
[10]	Zeiss Cirrus (Carl Zeiss Meditec, Inc., Дублин, Калифорния)	Классификация	Норма, макулярное отверстие, возрастная макулярная дегенерация, центральная серозная ретинопатия, диабетическая ретинопатия	-	.jpeg	470	Макулярная область	2020
[11]	Spectralis (Heidelberg Engineering, Heidelberg, Германия)	Сегментация	Диабетический макулярный отек	Жидкость, слои сетчатки	MATLAB	110	Диск зрительного нерва	2015
[12]	Spectralis OCT, Heidelberg Engineering, German	Классификация	Норма, хориоидальная неоваскуляризация, диабетический макулярный отек, друзы	-	JPEG	108 312	Макулярная область	2018
[13]	(Spectralis OCT, Heidelberg Engineering, German	Сегментация	Кистоидный макулярный отек	Жидкость	.jpeg	1000	Макулярная область	2021
[14]	Spectralis [Heidelberg Inc, Heidelberg, Germany/ Bioptigen, Inc (Research Triangle Park, NC	Классификация / сегментация	Норма, промежуточная возрастная макулярная дегенерация	Пигментный эпителий сетчатки, друзы и толщина сетчатки	MATLAB	38400	Макулярная область	-
[15]	Bioptigen, Inc. (Research Triangle Park, NC)	Классификация / сегментация	Неоваскулярная возрастная макулярная дегенерация	Пигментный эпителий сетчатки, друзы и толщина сетчатки	MATLAB	220	Макулярная область	2011
[16]	Spectralis HRA OCT,Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany	Сегментация	Макулярное отверстие	Сетчатка, макулярное отверстие, интраретинальная жидкость, хороид	.png	3859	Макулярная область	2022
[17]	Spectralis SD-OCT (Heidelberg Engineering Inc., Heidelberg, Germany)	Классификация	Норма, сухая возрастная макулярная дегенерация, диабетический макулярный отек	-	.tiff	45	Макулярная область	2014
[18]	Heidelberg Spectralis imaging system	Классификация / сегментация	диабетический макулярный отек	Слои сетчатки, жидкость	MATLAB	725	Макулярная область	2017

Ссылка	Прибор	Тип разметки	Классы	Области интереса	Формат данных	Количество данных (B-scan)	Режим сканирования	Год
[19]	TOPCON'S 3D OCT-1000	Классификация / Сегментация	Норма, глаукома	ILM и RPE слои сетчатки, соотношение чашки и диска зрительного нерва	.jpg	26	Диск зрительного нерва	2018
[20]	Spectralis OCT system (Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany)	Классификация / Сегментация	Норма, рассеянный склероз	9 слоев сетчатки	MATLAB, vol	1715	Макулярная область	2013
[21]	Heidelberg Spectralis (Heidelberg Engineering, Germany)	Сегментация, детекция	Возрастная макулярная дегенерация, диабетический макулярный отек и норма	ILM, OPL, IS-OS, IBRPE, OBRPE слои сетчатки	.jpg	1672	Макулярная область	2023
[22]	Heidelberg SD-OCT	Классификация	Норма, друзы, хориоидальная неоваскуляризация	-	.jpg	16822	Макулярная область	2021
[23]	Optovue Avanti RTVue XR.	Классификация	Норма, возрастная макулярная дегенерация, диабетический макулярный отек, эпиретинальная мембрана, окклюзия артерии сетчатки, окклюзия вен сетчатки, заболевание витреомакулярного интерфейса	-	.jpg	2000	Макулярная область	2024

Полученные результаты демонстрируют широкий спектр применения данных ОКТ для задачи автоматизации процессов в офтальмологии с акцентом на развитие методов классификации и сегментации, а также применение высокоточных приборов. Тем не менее, использование ограниченных наборов данных для машинного обучения создает проблему чрезмерной подгонки и может привести к критически низкой производительности моделей при оценке на валидационном наборе [24, 25].

Таким образом, дальнейшим этапом разработки должна являться проверка имеющихся данных относительно имеющейся разметки. Кроме того, в случае разработки моделей, для которых не представлено данных в открытом доступе, должна быть подготовлена методология сбора и разметки с целью получения качественного набора обучения и тестирования [26].

Список используемых источников

1. Song A. H., Jaume, G., Williamson, D.F.K. et al. Artificial intelligence for digital and computational pathology. Nat Rev Bioeng 1, 930–949 (2023). URL: https://doi.org/10.1038/s44222-023-00096-8 (дата обращения 13.02.2025).

2. Perez-Lopez R., Ghaffari Laleh N., Mahmood F. et al. A guide to artificial intelligence for cancer researchers. Nat Rev Cancer 24, 427–441 (2024). URL: https://doi.org/10.1038/s41568-024-00694-7

3. Аксенова Л. Е., Аксенов К. Д., Козина Е. В., Мясникова В. В. Разработка и тестирование автоматизированной системы анализа окт изображений сетчатки. Разработка и тестирование автоматизированной системы анализа окт изображений сетчатки. Доклады российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления. 24 сентябрь 2023 г.;169–76

4. Sakhnov S. N., Малюгин Б. Э., Сахнов С. Н., Аксенова Л. Е., Мясникова В. В. Применение искусственного интеллекта в диагностике и хирургии кератоконуса: систематический обзор // Офтальмохирургия, 2022. № 1. С. 77–96. URL: https://doi.org/10.25276/0235-4160-2022-1-77-96 (дата обращения 13.02.2025).

5. Browning David J., et al. Comparison of the clinical diagnosis of diabetic macular edema with diagnosis by optical coherence tomography // Ophthalmology, 2004. 111.4. PP. 712–715.

6. De Fauw Jeffrey, et al. Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease // Nature Medicine, 2018. 24.9. PP. 1342 23.

7. Kermany D. S., Goldbaum M., Cai W., Valentim C. C. S, Liang H., Baxter SL, et al. Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning. Cell. 2018 Feb;172(5):1122-1131.e9.

8. Kermany D. S., Goldbaum M., Cai W., Valentim C. C. S, Liang H., Baxter S. L., et al. Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning. Cell 2018;172:1122-1131.e9. URL: https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.02.010.

9. Козина Е. В., Сахнов С. Н., Мясникова В. В. [и др.] Современные тенденции диагностики и прогнозирования результатов терапии ингибиторами ангиогенеза отслоек пигментного эпителия при неоваскулярной возрастной макулярной дегенерации с применением методов глубокого машинного обучения (обзор литературы) // Acta Biomedica Scientifica (East Siberian Biomedical Journal). 2021. Т. 6, № 6-1. С. 190-203. DOI 10.29413/ABS.2021-6.6-1.22.

10. Peyman Gholami, Priyanka Roy, Mohana Kuppuswamy Parthasarathy, Vasudevan Lakshminarayanan. OCTID: Optical Coherence Tomography Image Database // arXiv preprint arXiv, 2018. 1812.07056.

11. Chiu S. J., Allingham M. J., Mettu P. S., Cousins S. W., Izatt J. A., Farsiu S. Kernel regression based segmentation of optical coherence tomography images with diabetic macular edema // BIOMEDICAL OPTICS EXPRESS, 2015. № 6 (4). PP. 1172-1194.

12. Kermany D., Zhang K., Goldbaum M. Labeled Optical Coherence Tomography (OCT) and Chest X-Ray Images for Classification", Mendeley Data, V2, doi: 10.17632/rscbjbr9sj.2

13. Zeeshan Ahmed, Munawar Ahmed, Attiya Baqai, and Fahim Aziz Umrani. (2022). Intraretinal Cystoid Fluid [Data set]. Kaggle. https://doi.org/10.34740/KAGGLE/DS/2277068

14. Zeeshan Ahmed, Munawar Ahmed, Attiya Baqai, & Fahim Aziz Umrani. (2022). Intraretinal Cystoid Fluid [Data set]. Kaggle. https://doi.org/10.34740/KAGGLE/DS/2277068

15. Chiu S. J., Izatt J. A., O'Connell R.V., Winter K. P., Toth C. A., Farsiu S. Validated Automatic Segmentation of AMD Pathology including Drusen and Geographic Atrophy in SDOCT Images. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 53(1). PP. 53-61, Jan. 2012.

16. Shen, Lijun; Ye, Xin; He, Shucheng; Zhong, Xiaxing; Shen, Yingjiao; Yang, Shangchao; et al. (2023). OIMHS dataset. figshare. Dataset. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.23508453.v1

17. Srinivasan P. P., Kim L.A., Mettu P.S., Cousins S.W., Comer G.M., Izatt J.A., and Farsiu S. Fully automated detection of diabetic macular edema and dry age-related macular degeneration from optical coherence tomography images. BioMedical Optics Express,5(10). PP. 3568-3577, 2014

18. Rashno A., Koozekanani D. D., Drayna P. M., Nazari B., Sadri S., Rabbani H. and Parhi K. K. Fully-Automated Segmentation of Fluid/Cyst Regions in Optical Coherence Tomography Images with Diabetic Macular Edema using Neutrosophic Sets and Graph Algorithms // IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Doi: 10.1109/TBME.2017.2734058,2017.

19. Raja Hina, Usman Akram, Muhammad, Ramzan, Aneeqa; Khalil, Tehmina; Nazid, Nauman (2020), "Data on OCT and Fundus Images", Mendeley Data, V2, doi: 10.17632/2rnnz5nz74.2

20. He Y., Carass A., Solomon S. D., Saidha S., Calabresi P. A., and Prince J. L. Retinal layer parcellation of optical coherence tomography images: Data resource for Multiple Sclerosis and Healthy Controls", Data in Brief, 22:601-604, 2019.

21. Arikan Mustafa (2023). OCT5k: A dataset of multi-disease and multi-graded annotations for retinal layers. University College London. Dataset. https://doi.org/10.5522/04/22128671.v1

22. Mustafa Arikan, James Willoughby, Sevim Ongun, Ferenc Sallo, Andrea Montesel, Hend Ahmed, Ahmed Hagag, Marius Book, Henrik Faatz, Maria Vittoria Cicinelli, Amani A Fawzi, Dominika Podkowinski, Marketa Cilkova, Deanna de Almeida, Moussa Zouache, Ganesham Ramsamy, Watjana Lilaonitkul, Adam M Dubis doi: https://doi.org/10.1101/2023.03.29.534704

23. Kulyabin Mikhail; Zhdanov Aleksei; Nikiforova,Anastasia; Stepichev Andrey; Kuznetsova Anna; Borisov Vasilii; Ronkin Mikhail; Bogachev Alexander; Korotkich Sergey; Maier Andreas. OCTDL: Optical Coherence Tomography Dataset for Image-Based Deep Learning Methods // Mendeley Data, 2024. V4, doi: 10.17632/sncdhf53xc.4

24. Choi J. Y., Yoo T. K., Seo J. G., Kwak J, Um T. T., Rim T. H. Multi-categorical deep learning neural network to classify retinal images: a pilot study employing small database. PLoS One 2017. 12:e0187336. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187336

25. Barbedo J. G. A. Impact of dataset size and variety on the effectiveness of deep learning and transfer learning for plant disease classification. Comput Electron Agric 2018. 153:46–53. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.013

26. M 80 Regulations on dataset preparation and approaches to representative data sampling. Part 1: Guidelines. S.P. Morozov, A.V. Vladzimyrskiy, A.E. Andreychenko et al. Best Practices in Medical Imaging. Issue 103. Moscow. Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department, 2022, 40 pp.

ANALYSIS OF OPEN OCT IMAGE DATASETS FOR THE DEVELOPMENT AND TESTING OF A PROTOTYPE SOFTWARE SYSTEM BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

Krasov A., Aksenova L.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications
OOO Space of Intellectual Solutions, Novorossiysk
Kuban State Technological University

To date, artificial intelligence-based systems for analyzing medical data have become widely adopted. These systems are trained on labeled datasets. We analyzed publicly available OCT image datasets and identified 14 datasets labeled with respect to 17 pathologies and several areas of interest.

Key words: *datasets, optical coherence tomography, machine learning, classification, segmentation, ophthalmology*

УДК 004.9
ГРНТИ 50.41.25

ГИС-ПРИЛОЖЕНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МИГРАЦИОННОГО СЕЗОНА РЫБ В СЕВЕРНОМ БАССЕЙНЕ

О. Б. Кузнецова

Мурманский арктический университет

Прогнозирование миграций рыбы включает предсказание направлений и траекторий движения скоплений, а также их интенсивности. Использование геоинформационных систем (ГИС) в целях прогнозирования миграционного сезона рыб в Северном бассейне представляет инновационный подход, который способен улучшить управление рыболовством в этом регионе.

геоинформационное обеспечение, ГИС-приложение, водные биоресурсы, сезонная миграция рыб, сезонное прогнозирование миграции рыб

Рыбная миграция в Северном бассейне является одним из наиболее значимых и сложных природных явлений, которое оказывает влияние на экосистему региона и жизнедеятельность многих видов рыб [1, 2]. Миграционный сезон рыб играет ключевую роль в поддержании биологического разнообразия и экологического баланса в водных системах [1].

Разработка ГИС-приложения для прогнозирования миграций рыб может предсказывать места и время появления различных видов рыб, с учетом климатических условий и других факторов. Такой подход значительно повысит эффективность и экономическую эффективность рыболовных компаний, позволяя им выбирать оптимальные места и время для рыбной ловли. Кроме того, такое приложение способно улучшить управление рыбными ресурсами, сократить нежелательный улов и поддерживать стабильность экосистемы в данном регионе.

Учитывая все возрастающий интерес к проблемам рыболовства и охраны водных ресурсов, а также потенциальный спрос на ГИС-приложения для решения этих задач, можно предположить, что бизнес, связанный с разработкой и внедрением такого приложения, имеет потенциал для роста и развития.

Целью работы является разработка и реализация ГИС-приложения прогнозирования миграционного сезона рыб в Северном бассейне.

ГИС-приложение решает следующие задачи (рис. 1):

– обработка и хранение данных;
– визуализация данных.

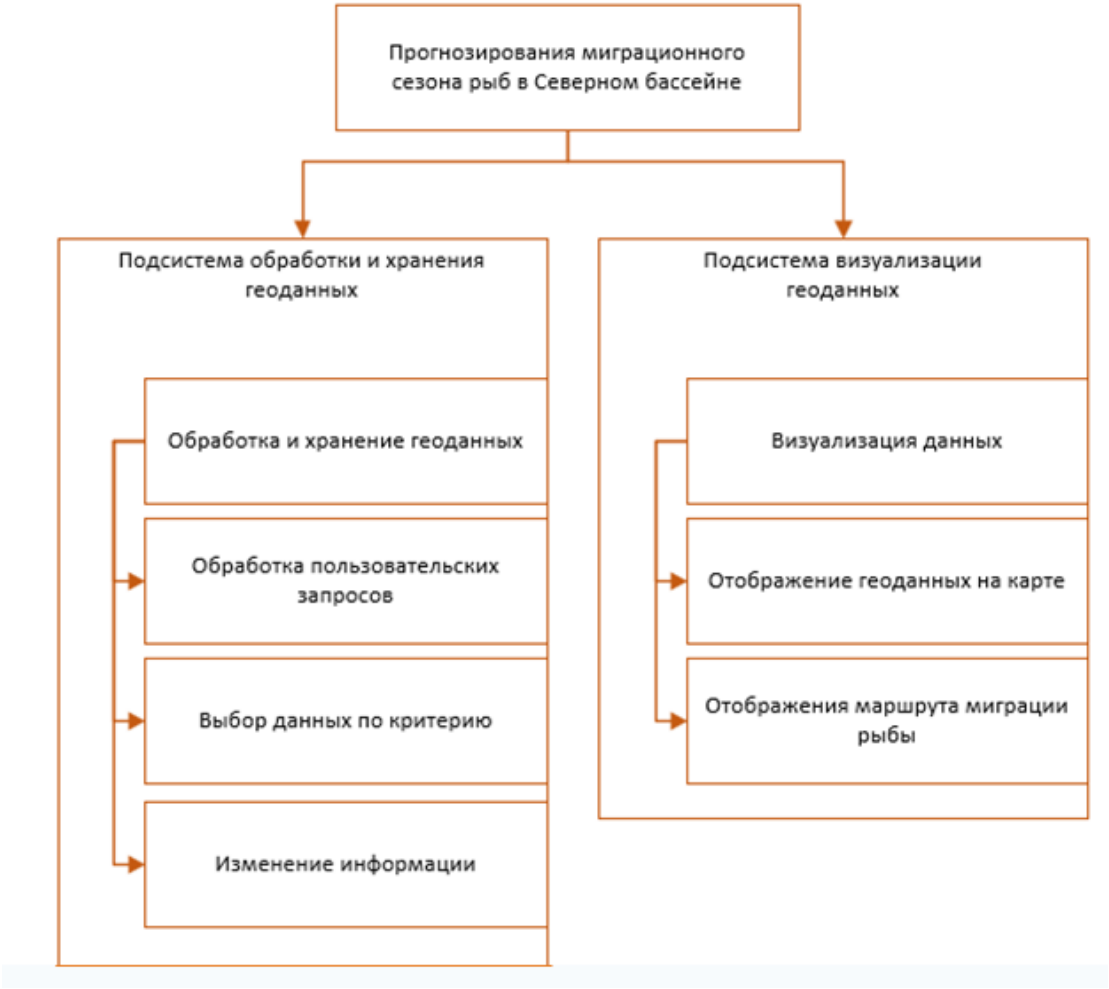


Рис. 1. Задачи ГИС-приложения

Итогом решения поставленных задач является ГИС-приложение, реализующие два набора функций:

– функционал администратора:
  - манипулирование данными.
– функционал пользователя:
  - управление своей учетной записью;
  - управление поступающими запросами;
  - корректировка возможных добавочных записей.

Рассмотрим работу ГИС-приложения на контрольном примере.

При открытии приложения пользователю необходимо авторизоваться в системе. Для этого необходимо ввести логин и соответствующий ему па-

роль. Если пользователь в системе не зарегистрирован, он может создать свою учетную запись, указав ее имя и установив для нее пароль.

При авторизации перед пользователем предоставляется форма приложения с возможностью выбора определенного вида рыбы (рис. 2). Используя мышь, пользователь выбирает один из видов рыбы на карте.

Пользователю также необходимо ввести участок, на котором будет выполнен поиск, чтобы начался предварительный прогноз предполагаемого улова рыбы (рис. 3).

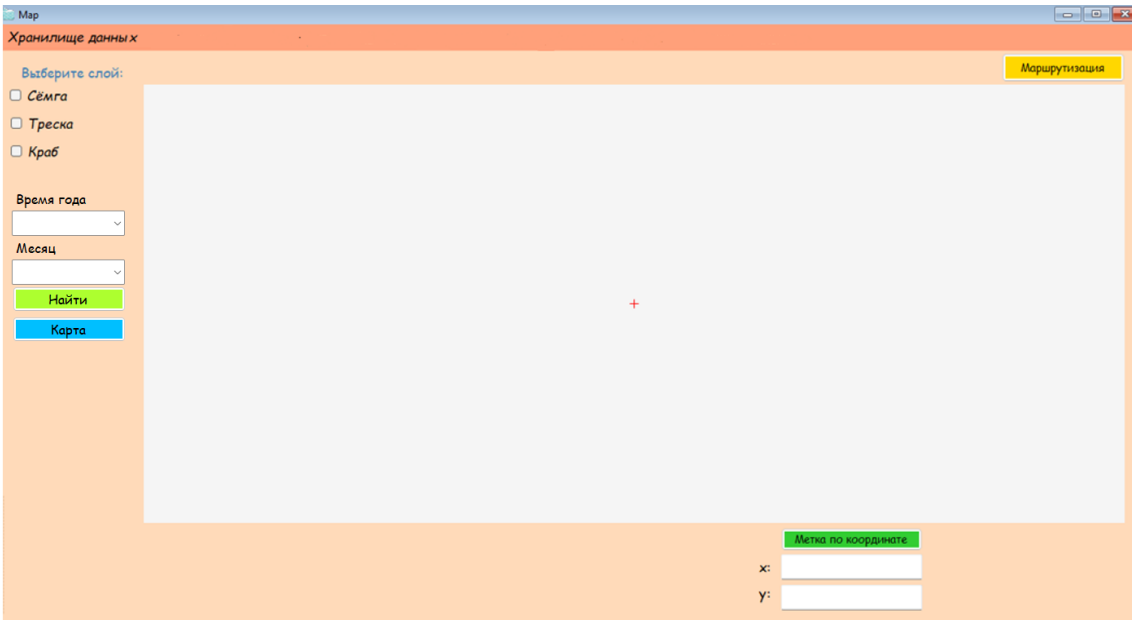


Рис. 2. Главная страница приложения

Рис. 3. Предварительный прогноз

Меню администратора состоит из модального окна. В любой момент администратор может открыть любую таблицу из базы данных и изменить ее, после чего все данные будут обновлены во всех системах. Используется встроенный клиент SQL для отображения базы данных (рис. 4).

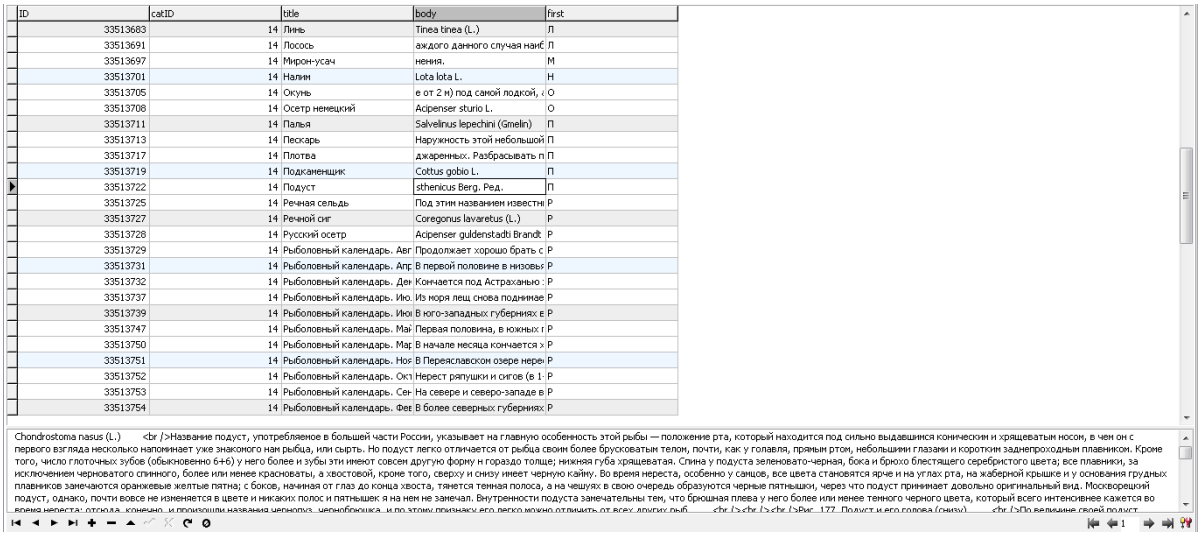


Рис. 4. Форма обращения к базе данных

Таким образом, можно констатировать, что цель работы достигнута. Результатом проделанной работы явилось ГИС-приложение, которое позволит организовать процесс прогнозирования миграционного сезона рыб в Северном бассейне согласно возможностям каждого из участников, контролируя поток поступающих запросов.

Список используемых источников

1. Организация миграционного цикла рыб в составе рыбоохранного комплекса гидроузла. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-migratsionnogo-tsikla-ryb-v-sostave-ryboohrannogo-kompleksa-gidrouzla (дата обращения 23.01.2025).

2. Особенности сезонных миграций. URL: https://rest.marine-research.ru/api/core/bitstreams/73790905-1587-4c93-8a3b-1ce85a268fef/content (дата обращения 23.01.2025).

GIS-APPLICATION FOR FORECASTING THE MIGRATION SEASON OF FISH IN THE NORTHERN BASIN

Kuznetsova O.
Murmansk Arctic University

Fish migration forecasting includes predicting the directions and trajectories of clusters, as well as their intensity. The use of geographic information systems (GIS) to predict the migration season of fish in the Northern Basin represents an innovative approach that can improve fisheries management in this region.

Key words: *geoinformation support, GIS-application, aquatic bioresources, seasonal fish migration, seasonal fish migration forecasting*

УДК 004.62
ГРНТИ 50.53

КАК ВЫБРАТЬ ПОДХОДЯЩУЮ BI-ПЛАТФОРМУ

Р. Я. Лабковская, П. В. Косов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В настоящее время в мире каждую секунду генерируется, собирается, хранится и обрабатывается огромное количество данных. Правительства, частные и государственные компании и организации, стремятся использовать эти данные для принятия действенных решений и разработки конкурентных решений. В этом стремлении им на помощь «приходят» системы бизнес-аналитики (BI -– business intelligence), представляющие собой программные комплексы, используемые с целью извлечения полной, полезной и достоверной информации из больших массивов данных. В данной статье будут рассмотрены различные BI-платформы и даны рекомендации по выбору подходящей.

анализ данных, искусственный интеллект, бизнес-аналитика, BI, BI-платформы, платформа бизнес-аналитики

Сегодня в условиях огромного потока информации бизнес-аналитика обладает высокой значимостью, при этом не переставая эволюционировать. За последние годы вручную качественно справляться с огромными массивами накопленных данных стало невыполнимой задачей. В связи с этим современные компании сделали выбор в пользу BI-платформ, которые им помогают более уверенно смотреть в будущее, став неотъемлемой частью современного управленческого подхода. Теперь вся сложность аналитики и систематизации больших объемов информации перекладывается на информационные системы, благодаря чему участие человека, а, значит, и вероятность допущения ошибки в обработке данных на промежуточных этапах снижается [1]. Однако с учетом огромного количества BI-платформ, как российских, так и зарубежных, выбор подходящей может оказаться непростой задачей. На некоторых BI-платформах удобнее создавать графики, на других – сводить данные, у каких-то проще интерфейс для людей без технического образования, у каких-то, наоборот, сложный интерфейс. Есть платформы, существующие только на сервере, то есть работать с ними можно только через браузер, а у каких-то есть только версия для компьютера.

Выбор правильной платформы может существенно повлиять на успех компании. Надежная платформа должна быть способна обрабатывать большие объемы данных, предоставлять информацию в режиме реального времени и быть удобной для пользователя. Она также должна предлагать масштабируемость для удовлетворения растущих потребностей компании. В этой статье рассмотрены основные факторы, которые следует учитывать при выборе BI-платформы, чтобы помочь принять обоснованное решение, соответствующее целям и задачам компании.

Как выбрать правильную платформу бизнес-аналитики?

Сущность BI-систем заключается в последовательности информационных действий, которые преобразуют массивы данных на входе в готовую к использованию информацию на выходе [1]. С правильной платформой компании могут получать информацию из своих данных, определять тенденции и принимать более обоснованные решения.

Выбор BI-платформы стандартно состоит из 8 этапов.

На первом этапе необходимо оценить текущие потребности компании. Здесь немаловажным будет определение источников данных и ответственных лиц. Заблаговременно нужно озаботиться вопросом доступа к данным, т.к. не все данные находятся в открытом доступе. И, конечно, всегда нужно помнить, какие результаты вы ожидаете получить от того или иного решения. Уже после первого этапа будет сужен круг BI-платформ, которые будут максимально закрывать текущие потребности компании.

На втором этапе стоит обратить внимание на бюджет, заложенный на решение вопроса бизнес-аналитики. BI-платформы различаются не только своими характеристиками, предоставляемыми функциями и возможностями, но и стоимостью лицензий. Выбирайте BI-платформу, которая наилучшим образом будет соответствовать соотношению цены и качества.

На третьим этапе необходимо учесть, какие функции и возможности предоставляют BI-платформы. Постарайтесь выбрать платформу не только с богатым функционалом, но и с интуитивно понятным интерфейсом. Для удобства можете составить сравнительную таблицу. Подходящий вариант BI-платформы должен отвечать потребностям компании и иметь наилучшее соотношение цены и качества.

На следующем этапе обращайте внимание на гибкость и масштабируемость BI-платформы. BI-платформа должна бесшовно интегрироваться с

различными приложениями и платформами, а также иметь возможность масштабироваться.

Следующее, что важно принимать во внимание – это комплексные услуги поддержки и обслуживания, такие как обучение и устранение неполадок.

На шестом этапе, когда большая часть работы по выбору подходящей BI-платформы уже проделана, необходимо изучить отзывы других пользователей. Помните, что высокий рейтинг и положительные рекомендации свидетельствуют о качестве BI-платформы. Также из отзывов можно понять специфику работы BI-платформы, преимущества и недостатки, а также сделать вывод о соответствии BI-платформы текущим потребностям компании.

На предпоследнем седьмом этапе рекомендуется переходить к тестированию выбранной BI-платформы. Скачайте с официального сайта бесплатную пробную версию или запросите триал у разработчика, если его нет в открытом доступе. Начните знакомство с BI-платформой с изучения руководства пользователя или с просмотра видеообзора.

И последнее, но одно из главных, на что необходимо обратить внимание – это безопасность. Помните, что безопасность данных должна быть на первом месте. Ищите платформы, которые предлагают безопасное хранение данных и доступ к ним, а также гарантируют их защиту. Обязательно изучите различные варианты и прочитайте обзоры.

Далее в статье представлено описание трех популярных BI-платформ, две являются зарубежными разработками и одна – российской разработкой: Tableau, Power BI, Yandex DataLens.

Tableau

BI-платформа Tableau – лидер рынка визуализации данных по мнению аналитического агентства Gartner Group, которое ежегодно проводит исследование в области аналитики и BI-систем, формируя по итогам Магический Квадрант (Gartner® Magic Quadrant™ for Analytics and BI Platforms). Данный Квадрант представляет собой графическое отображение ситуации на рынке BI-систем, позволяющее оценить возможности продуктов и предложения производителей.

Tableau прост в использовании благодаря функции drag-and-drop, позволяющей анализировать данные. Интуитивно понятный интерфейс упрощает процесс организации данных, делая его доступным для пользователей

с ограниченными техническими знаниями. В Tableau можно извлекать и объединять данные из различных источников.

На BI-платформе в открытом доступе имеется большое количество справочных материалов, обзоров и разборов. Ключевыми преимуществами Tableau являются возможность одновременной работы над отчетом нескольким пользователям в режиме реального времени, а также возможность делиться отчетами разными способами: публикуя их на сервере Tableau, отправляя посредством электронной почты, через бесплатное приложение для просмотра визуализаций Tableau Reader либо через доступ по ссылке. Такое многообразие добавляет гибкости, а также снимает многие ограничения.

Преимущества и недостатки BI-платформы Tableau представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Преимущества и недостатки BI-платформы Tableau

Преимущества	Недостатки
Интуитивно приятный и понятный интерфейс	Необходимость предварительной обработки данных
Легко интегрируется с различными платформами	Функции и опции могут казаться узконаправленными и ограничивающими
Большое количество встроенных инструментов, позволяющих импортировать данные из различных источников	
Возможность совместной работы над отчетами	
Огромное количество видеоматериалов, курсов и руководств	

Power BI

Power BI является мощнейшим ETL-инструментом для построения аналитических отчетов. Он предоставляет BI-разработчику большое количество инструментов, благодаря которым можно решить практически любую задачу.

BI-платформа Power BI имеет несколько вариантов доступа: Power BI Desktop – автономное классического приложение, Power BI Services – полностью управляемая облачная служба и Power BI Mobile – мобильное приложение для людей, которые хотят оперативно отслеживать интерактивные панели мониторинга и отчеты с помощью мобильных устройств. Power BI

Desktop поставляется как бесплатное приложение, Power BI Pro является платным предложением, основанным на подписках, но на территории Российской Федерации недоступно.

На официальном сайте корпорации Microsoft в обзоре на продукт Power BI написано: «Power BI – это передовая платформа бизнес-аналитики, которая сочетает в себе понятный интерфейс и лучшие в отрасли возможности глубокого анализа. Организации могут объединять все свои данные, анализировать петабайты информации за считаные секунды и пользоваться функциями аналитики со встроенными возможностями ИИ» [2]. Power BI предоставляет надежные возможности моделирования данных, что позволяет их эффективно структурировать и организовывать. А удобный интерфейс упрощает процесс манипулирования данными, делая его доступным даже для пользователей с ограниченными техническими знаниями. С помощью настраиваемых панелей мониторинга есть возможность настроить визуальное представление данных в соответствии с конкретными потребностями и предпочтениями. Все это в совокупности дает возможность сосредоточиться на наиболее релевантных показателях и KPI для бизнеса.

Кроме того, Power BI позволяет извлекать из данных ценные аналитические сведения для принятия взвешенных решений в режиме реального времени. Эта возможность имеет решающее значение для опережения конкурентов и оперативного реагирования на меняющиеся тенденции рынка.

Power BI беспрепятственно интегрируется с различными бизнес-приложениями, предоставляя многочисленные преимущества для пользователей. В таблице 2 представлены некоторые ключевые приложения, с которыми Power BI может бесшовно интегрироваться:

ТАБЛИЦА 2. Приложения, с которыми Power BI интегрируется

Приложение	Описание	Преимущества
Salesforce	CRM-программное обеспечение	Расширенная аналитика продаж
Google Analytics	Платформа веб-аналитики	Улучшение показателей производительности веб-сайта
Microsoft Office	Набор инструментов для повышения производительности	Упрощенный обмен отчетами
SAP Business One	ERP-решение для малого бизнеса	Лучший финансовый анализ

MailChimp	Служба email-маркетинга	Расширенный анализ маркетинговой кампании

Полная интеграция приложений Power BI расширяет возможности анализа данных, обеспечивая целостное представление о бизнес-операциях.

Когда дело доходит до методов визуализации данных, Power BI предлагает широкий спектр опций для создания убедительных визуальных представлений ваших данных, обеспечивая совместимость с различными форматами данных. Кроме того, его интерактивный дизайн панели управления позволяет обновлять данные в режиме реального времени и проводить детализацию, улучшая пользовательский опыт и процессы принятия решений. Эта совместимость распространяется на интерактивные функции, такие как фильтрация и нарезка данных на панели мониторинга, предоставляя пользователям динамические идеи. Бесшовная интеграция Power BI с другими бизнес-приложениями еще больше обогащает его возможности для комплексного анализа и визуализации данных.

Yandex DataLens

Yandex DataLens – это отечественный бесплатный инструмент для аналитики и визуализации данных от компании Yandex. DataLens может создавать отчеты и дашборды, используя алгоритмы визуализации данных и облачной обработки.

DataLens собирает воедино все разрозненные данные и представляет в понятном для восприятия человека виде.

На платформе DataLens можно создавать следующие визуализации:

– Различные виды диаграмм: точечные, кольцевые, с накоплениями, столбчатые и линейчатые, круговые и древовидные.
– Различные типы карт: тепловые и с точками, с кластерами и полигонами.
– Индикаторы для KPI.

Благодаря наглядному отображению информации появляется возможность интерпретации данных, выделения важного и нахождения закономерностей.

Все визуальные объекты собираются в дашборды, к которым можно, например, применять фильтрацию данных. При необходимости можно настроить автоматическое обновление для данных в основе DataLens-дашбордов – эта функция доступна в настройках, минимальный параметр составляет 30 секунд [3].

Многие популярные BI-платформы имеют ограничения в работе на территории Российской Федерации, например, Power BI от Microsoft и Tableau, в связи с чем большое количество компаний выбирают российские программные продукты. В настоящее время идет активный отечественное ПО, что делает DataLens востребованным продуктом.

Заключение

В заключение, выбирая подходящую BI-платформу, помните, что это критически важное решение, оказывающее огромное влияние на успех компании. Учитывайте конкретные цели и потребности компании, принимая во внимание технические характеристики и функционал каждой BI-платформы.

Помните, главное – найти BI-платформу, которая будет соответствовать целям, задачам и потребностям компании, а также позволит принимать обоснованные решения на основе данных. С правильной платформой вы сможете получить ценные идеи и стимулировать рост компании.

Список используемых источников

Соколова М.А., Зотова А.А. Характеристика современных BI-систем // Финансовые рынки и банки. 2022. №11. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/harakteristika-sovremennyh-bi-sistem (дата обращения 10.04.2025).

Power BI Обзор / // Microsoft: [сайт]. -– URL: https://powerbi.microsoft.com/ru-ru/guidedtour/power-platform/power-bi/1/1 (дата обращения 11.04.2025).

Андреева Е. Обзор DataLens / Андреева Е. // uplab. Разработка цифровых сервисов: [сайт]. -– URL: https://www.uplab.ru/blog/obzor-datalens/ (дата обращения 26.03.2025).

HOW TO CHOOSE THE RIGHT BI PLATFORM

Labkovskaya R., Kosov P.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In today's world, a vast amount of data is processed and stored, and their volume is constantly growing. Companies use this data to make decisions and develop business strategies. In this process, they are helped by business intelligence (BI) systems, which are software packages designed to extract useful information from large data sets. The paper discusses the different BI platforms and give recommendations on choosing the appropriate one.

Key words: *data analysis, artificial intelligence, business intelligence, BI, BI platforms*

УДК 004.42
ГРНТИ 29.29.00

ПРОБЛЕМЫ ВОСПРИЯТИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЛЛЮЗИЙ ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ

Р. Я. Лабковская, П. В. Косов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Данная работа описывает проблемы восприятия оптических иллюзий искусственным интеллектом: невозможность "увидеть" оптическую иллюзию и определить ее тип, что приводит к невозможности их воспроизведения искусственным интеллектом даже при наличии большой библиотеки изображений с примерами, на которых тренировались генеративно-состязательные сети. В работе предложены возможные варианты, которые могут привести к решению данных проблем.

оптические иллюзии, искусственный интеллект, ИИ, компьютерное зрение, зрительное восприятие.

Оптические иллюзии представляют собой уникальные визуальные феномены, которые демонстрируют, как человеческий мозг интерпретирует зрительную информацию. Они способны обманывать наше восприятие, создавая впечатление, которое не соответствует реальности. Восприятие окружающего мира является одной из ключевых функций как человека, так и искусственного интеллекта (ИИ). В последние годы ИИ стал важным инструментом в различных областях, включая обработку изображений и генерацию контента. Однако способность ИИ воспринимать и интерпретировать оптические иллюзии остается ограниченной. Данная работа посвящена анализу проблем, связанных с восприятием оптических иллюзий ИИ, и предлагает возможные пути их решения.

Человеческое восприятие представляет собой сложный процесс, включающий в себя не только сенсорную информацию, но и когнитивные аспекты. Нейропсихологические исследования показывают, что восприятие формируется на основе предшествующего опыта и контекста. Например, при восприятии оптической иллюзии, такой как иллюзия Мюллера-Лайера (рисунок 1), мозг интерпретирует длину линий, основываясь на окружающих элементах. Это объясняется тем, что человеческий мозг использует ассоциативные связи и контекстуальную информацию для формирования восприятия. Люди способны к многозадачности в восприятии: они могут одно-

временно обрабатывать различные аспекты визуальной информации, такие как цвет, форма, движение и глубина. Человеческое восприятие также подвержено иллюзиям и ошибкам, что может быть вызвано контекстом или ожиданиями [1, 2].

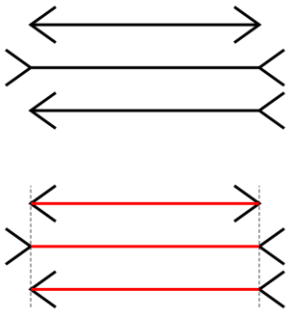


Рис. 1. Иллюзия Мюллера-Лайера

ИИ использует алгоритмы и модели, такие как сверточные нейронные сети, для обработки изображений. Эти модели обучаются на больших наборах данных, чтобы распознавать паттерны и классифицировать объекты [3].

Для доказательства наличия проблемы обратимся к генеративно-состязательным сетям (ГСС), способным визуализировать пользовательские запросы. Для эксперимента обратимся к моделям Stable Diffusion, Midjourney и Kandinsky и попросим их изобразить иллюзию восприятия размеров Мюллера-Лайера.

Результаты визуализации запроса в моделях Stable Diffusion и Midjourney показали, что построение данного вида оптических иллюзий вызывает у ГСС трудности (рис. 2). Результаты хаотичны и содержат в себе лишь попытки ГСС воссоздать оптические иллюзии разных типов. Изменение языка запроса на английский ситуацию не изменил.

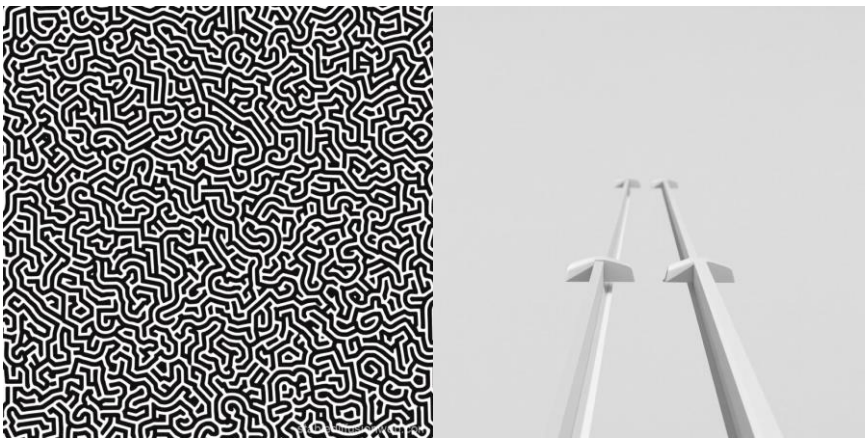


Рис. 2. Наиболее успешные результаты визуализации в моделях Stable Diffusion (слева) и Midjourney (справа)

Отечественная модель Kandinsky оказалась более успешна в решении данной задачи (рис. 3). Она чаще пыталась строить именно искомую оптическую иллюзию, однако не смогла повторить ее эффекта.

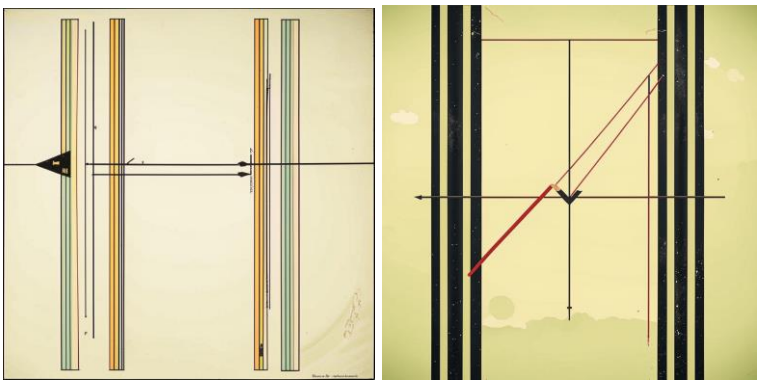


Рис. 3. Наиболее успешные результаты визуализации в модели Kandisky

Таким образом, видна явная проблема в восприятии оптических иллюзий ИИ, что приводит к невозможности ГСС повторить их эффект. Рассмотрим возможные факторы, влияющие на это.

Проблемы восприятия оптических иллюзий ИИ:

1. В отличие от человека, ИИ не имеет интуиции или предвзятости, основанной на опыте, а полагается исключительно на данные, на которых он был обучен. ИИ обычно обрабатывает информацию более строго и последовательно. Он может быть очень точным в распознавании определенных паттернов, но его способность к обобщению может быть ограничена. Если ИИ не видел определенный объект во время обучения, он может не распознать его правильно.

2. ИИ не способен учитывать контекст, в котором представлена информация. Например, в случае иллюзии Понцо (рисунок 4), где две горизонтальные линии воспринимаются как разной длины из-за фоновых элементов, ИИ может неправильно интерпретировать длину линий, не принимая во внимание фон [4, 5].

Рис. 4. Иллюзия Понцо

3. Существует множество типов оптических иллюзий, включая геометрические, цветовые и движения. Каждая из этих категорий требует специфического подхода к анализу. ИИ, обучаясь на больших библиотеках изображений, может не всегда правильно классифицировать тип иллюзии. ГСС могут создавать изображения, которые выглядят правдоподобно на первый взгляд, но не могут воспроизвести специфические эффекты восприятия, характерные для оптических иллюзий. Это связано с тем, что такие сети учатся на основе статистических закономерностей в данных, а не на основе понимания визуального восприятия [6].

Для решения первых двух проблем необходимо исследование механизмов человеческого восприятия биологами для интеграции в алгоритмы ИИ, что приведет к созданию более сложных моделей обработки изображений. Это позволит ИИ более эффективно имитировать человеческое восприятие и справляться с оптическими иллюзиями.

Для решения третьей проблемы возможны следующие способы решения:

1. Интеграция различных типов данных может помочь ИИ развить более глубокое понимание контекста. Мультимодальные модели могут использовать информацию из различных источников для более точной интерпретации визуальных данных.

2. Разработка алгоритмов (в том числе математическое описание оптической иллюзии), которые могут помочь ИИ строить иллюзии на основе алгоритмов, а не набора изображений в датасете.

Проблемы восприятия оптических иллюзий искусственным интеллектом являются актуальной темой для исследования в области компьютерного зрения и нейросетевых технологий. Невозможность «увидеть» иллюзию и определить ее тип ограничивает возможности ИИ в генерации подобного контента. Однако исследования механизмов человеческого восприятия биологами и разработка специализированных алгоритмов и моделей может привести к значительным улучшениям в этой области. В будущем это может открыть новые горизонты для применения ИИ в искусстве, дизайне и психологии восприятия.

Список используемых источников

1. Меньшикова Г. Я. Зрительные иллюзии: психологические механизмы и модели: автореф. дис. … докт. псих. наук: 19.00.02 / Меньшикова Галина Яковлевна. М., 2014. 46 с.

2. Arthur G. Shapiro, Dejan Todorovic, The Oxford compendium of visual illusions, Oxford, Oxford University Press. 2017. 833 p.

3. Хисматуллин Э. Г., Беляева М. Б. История развития компьютерного зрения. Тенденции развития науки и образования. 2024. № 105–12. С. 175–181.

4. Андриянов Н. А., Дементьев В. Е., Ташлинский А. Г. Обнаружение объектов на изображении: от критериев Байеса и Неймана-Пирсона к детекторам на базе нейронных сетей. Компьютерная оптика. 2022. Т. 46. № 1. С. 139–159.

5. Гильмияров Р., Кирилов А. Проблема искусственного интеллекта // Инновационные процессы в науке и технике XXI века, 2015. С. 42–46.

6. Кострова В. Н. Особенности когнитивных свойств компьютерной сети. В сборнике: Актуальные проблемы инновационных систем информатизации и безопасности. Материалы международной научно-практической конференции. Воронеж, 2024. С. 135–138.

HOW TO CHOOSE THE RIGHT BI PLATFORM

Labkovskaya R., Kosov P.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper describes the problems of perception of optical illusions by artificial intelligence: the impossibility of "seeing" an optical illusion and determining its type, which leads to the impossibility of their reproduction by artificial intelligence even with a large library of images with examples on which generative adversarial networks were trained. The paper proposes possible options that can lead to a solution to these problems.

Key words: *Optical illusions, artificial intelligence, AI, computer vision, visual perception*

УДК 004.725.5
ГРНТИ 20.51.19

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В РАМКАХ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Р. Я. Лабковская, В. А. Тарасов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Сложность и гетерогенность современных информационных систем обусловливают необходимость тонкого и гибкого подхода к управлению информационными потоками и соответствующими элементами информационной инфраструктуры. В корпоративной системе, особенно крупной, необходимость мониторинга, анализа и коррекции большого количества параметров передачи информации, тем более в реальном времени, требует колоссального ресурса административного персонала. Данную проблему представляется уместным решать с помощью интеллектуальных систем, которые позволили бы не только уменьшить количество административного персонала и нагрузку на него, но и потенциально уменьшить вероятность ошибок при принятии управленческих решений, а также упростить процедуру изменения инфраструктуры.

сетевая система управления, network management system, информационная инфраструктура, оператор связи

На заре эпохи автоматизации технологических процессов и документооборота задачи административного управления информационной инфраструктурой не стояли остро, так как зачастую персональные компьютеры, использовавшиеся в организация, не были связаны между собой посредством сетевой инфраструктуры, информационная система организации не представляла собой единое целое, централизация отсутствовала, а обслуживание вычислительных систем осуществлялось локально тем персоналом, который использовал его для решения прикладных задач.

Существует ряд систем, позволяющих автоматизировать процессы мониторинга, анализа и, в ряде случаев, устранения ошибочных ситуаций в сетевой среде. Они относятся к классу Network Management System (NMS).

NMS обеспечивает возможность отображения карты сети, на которой представлено оборудование, сведения о его доступности, параметрах, состоянии соединений [1].

Такого рода системы предоставляют следующие возможности:

– управление конфигурацией;

– управление характеристиками;
– управление неисправностями;
– управление абонентскими данными;
– управление безопасностью.

Они позволяют сократить время, затрачиваемое персоналом на обслуживание системы и обеспечить большее удобство ее эксплуатации.

В качестве примеров можно привести следующие продукты данного класса.

Quest Foglight Network Management System обеспечивает функции, свойственные сложным и дорогим системам управления. Основные возможности:

– мониторинг основных показателей точек доступа, в том числе, установок параметров, ключей безопасности, для оборудования Cisco возможно получение дополнительных показателей производительности;
– просмотр статистики клиентов оборудования Cisco;
– формирование отчетов по основным сведениям производительности, а именно – количеству подключенных узлов, параметрам сигнала и качеству подключения устройств;
– конфигурирование бескабельных систем;
– блокирование узлов, не соответствующих стандартам и политикам посредством выявления неверной конфигурации, осуществляется блокировка подозрительных пользователей.

NMS Титан – отечественная система управления, обладающая широким функционалом, она предназначена для обеспечения работы операторов связи и обладает следующим функционалом:

– наличие стандартизированных протоколов и интерфейсов;
– присутствует поддержка как ручного, так и автоматического режимов работы с оборудованием;
– получение телеметрии сервисов и оборудования в реальном времени;
– мониторинг и протоколирование событий, происходящих в системе;
– обновление программного обеспечения на сетевых узлах осуществляется централизованно;
– функция управления пользователями.

SINEC NMS предназначена для управления промышленными сетями и их мониторинга, поддерживает следующие опции:

– полный контроль и визуализация сети;
– интеграция различных компонентов в одном инструменте;

– в любое время сетевая инфраструктура может быть увеличена;
– данные хранятся в архиве и могут быть оперативно получены;
– настройка сетевой инфраструктуры осуществляется на основе использования правил независимо от типов устройств, хранение резервных копий конфигурации;
– возможность обновления прошивки в инфраструктуре.

Таким образом, эксплуатация существующих и разработка новых сетевых систем управления представляются эффективными и перспективными. Необходимо обеспечить их модульность в целях оптимального выбора функций, процессоориентированность из-за необходимости гибкой настройки, соответствие международным стандартам в целях облегчения унификации для объединения сетей, а также поддержку мониторинга аппаратных компонентов. Это обеспечит операторов связи надежными продуктами для решения корпоративных задач [2].

Список используемых источников

1. Беркетов Г. А. Задача использования современных информационных технологий в системах технического обслуживания автоматизированных систем обработки информации // In Situ. 2015. № 4. С. 34–36.

2. Климов Д. А., Аржанцев С. В. О тенденциях развития систем управления гетерогенными сетями связи // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения, 2011. Т. 11, № 3. С. 139–141.

INTELLECTUALIZATION OF MANAGERIAL DECISION-MAKING WITHIN THE FRAMEWORK OF INFORMATION INFRASTRUCTURE ADMINISTRATION

Labkovskaya R., Tarasov V.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The complexity and heterogeneity of modern information systems necessitate a subtle and flexible approach to managing information flows and related elements of the information infrastructure. In a corporate system, especially a large one, the need to monitor, analyze and correct a large number of information transmission parameters, especially in real time, requires a huge resource of administrative staff. It seems appropriate to solve this problem using intelligent systems that would not only reduce the number of administrative staff and their workload, but also potentially reduce the likelihood of errors in making managerial decisions, as well as simplify the procedure for changing infrastructure.

Key words: *network management system, network management system, information infrastructure, telecom operator*

УДК 623.746:004.8
ГРНТИ 28.23.15

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ТИПА CNN

О. С. Лаута, Н. А. Васильев, С. Г. Кунгурцев, И. Р. Трухманов

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В данной статье рассматриваются современные подходы к применению беспилотных авиационных систем для решения специальных задач с использованием сверточных нейронных сетей. Особое внимание уделяется анализу возможностей компьютерного зрения на основе глубокого обучения для обработки визуальных данных в реальном времени. Исследуются ключевые аспекты реализации алгоритмов распознавания объектов, навигации в сложных условиях и автоматического принятия решений. Приводятся практические примеры внедрения технологий искусственного интеллекта в системы управления беспилотными платформами. Рассматриваются основные проблемы и перспективы развития данного направления.

беспилотные летательные аппараты, сверточные нейронные сети, глубокое обучение, компьютерное зрение, автономная навигация, распознавание объектов, специальные задачи

В последние годы наблюдается стремительное развитие технологий искусственного интеллекта и их активное внедрение в различные сферы деятельности, включая беспилотные авиационные системы. Применение нейросетевых технологий, в частности сверточных нейронных сетей (CNN), открывает новые возможности для повышения автономности и эффективности беспилотных платформ при выполнении специальных задач. Актуальность данного направления обусловлена возрастающими требованиями к точности распознавания объектов, скорости обработки данных и надежности работы систем в сложных условиях эксплуатации. Современные исследования демонстрируют, что использование CNN позволяет значительно улучшить качество компьютерного зрения для БПЛА, обеспечивая высокую точность детектирования и классификации целей даже в условиях ограниченной видимости или при наличии помех.

Целью данной статьи является комплексный анализ особенностей применения беспилотных систем при выполнении специальных задач с использованием нейронных сетей типа CNN. В рамках исследования рассматрива-

ются ключевые аспекты реализации алгоритмов компьютерного зрения, включая вопросы обучения моделей, оптимизации вычислительных процессов и интеграции нейросетевых решений в бортовые системы управления. Особое внимание уделяется практическим примерам внедрения технологий искусственного интеллекта в беспилотные платформы, а также анализу возникающих технических ограничений и возможных путей их преодоления. Важной задачей работы является оценка перспектив дальнейшего развития данного направления с учетом современных тенденций в области машинного обучения и аппаратного обеспечения [1].

Сверточные нейронные сети (CNN) представляют собой специализированный класс алгоритмов глубокого обучения, который демонстрирует исключительную эффективность при обработке визуальных данных. Архитектура CNN основана на принципах локального восприятия и пространственной иерархии признаков, что делает их особенно подходящими для анализа аэрофотоснимков и видеопотоков с бортовых камер беспилотных летательных аппаратов. Ключевой особенностью современных нейросетевых моделей является использование глубинных разделяемых сверток, позволяющих значительно сократить вычислительную сложность без существенной потери точности. Это особенно важно для бортовых систем БПЛА, где ресурсы обработки ограничены. Основными структурными элементами CNN являются сверточные слои, выполняющие автоматическое выделение пространственных признаков, слои подвыборки, уменьшающие размерность данных, и полносвязные слои для классификации. Такая архитектура обеспечивает инвариантность к масштабу и положению объектов, что критически важно при анализе аэрофотоснимков, где объекты наблюдения могут находиться под разными углами и на различных расстояниях [2].

Преимущества CNN для обработки визуальных данных с БПЛА проявляются в нескольких аспектах. Во-первых, эти сети способны автоматически извлекать иерархические признаки из изображений, начиная от простых границ и текстур на начальных слоях до сложных объектов и сцен на глубоких слоях. Во-вторых, CNN демонстрируют высокую устойчивость к шумам и вариациям условий съемки, что особенно важно при работе в изменяющихся погодных условиях или при различном освещении. В-третьих, современные архитектуры позволяют достигать высокой скорости обработки, что необходимо для работы в реальном времени. В контексте обработки аэрофотоснимков CNN особенно эффективны для задач сегментации земной по-

верхности, детектирования объектов инфраструктуры, распознавания транспортных средств и других важных для специальных задач элементов.

Обучение и оптимизация моделей CNN для работы на бортовых компьютерах БПЛА требуют особого подхода. Основная сложность заключается в необходимости баланса между точностью распознавания и вычислительной эффективностью. Для этого применяются различные методы, включая квантование весов, прунинг незначимых нейронов, использование специализированных архитектур, таких как MobileNet, разработанных специально для мобильных и встраиваемых систем. Важным аспектом является адаптация предобученных моделей к конкретным условиям эксплуатации БПЛА с помощью методов трансферного обучения, что позволяет достичь хороших результатов даже при ограниченных наборах обучающих данных. Особое внимание уделяется оптимизации энергопотребления нейросетевых алгоритмов, так как это напрямую влияет на продолжительность полета беспилотных аппаратов. Современные подходы к сжатию и ускорению нейронных сетей позволяют развертывать достаточно сложные модели CNN даже на малогабаритных бортовых компьютерах, сохраняя при этом высокую точность распознавания и скорость обработки данных.

Применение сверточных нейронных сетей в беспилотных системах для решения специальных задач демонстрирует впечатляющие результаты в различных областях. В военных операциях CNN играют ключевую роль в задачах детектирования и классификации целей, где скорость и точность распознавания имеют критическое значение. Современные архитектуры типа YOLOv3 позволяют достигать высокой точности детектирования объектов в реальном времени даже на мобильных платформах. Это особенно важно при мониторинге территорий, где требуется оперативное выявление потенциальных угроз или перемещения техники. В гражданской сфере аналогичные технологии успешно применяются для мониторинга критической инфраструктуры - энергетических объектов, транспортных узлов, трубопроводов, где необходимо своевременно обнаруживать повреждения, несанкционированные действия или изменения состояния объектов [3].

Автономная навигация беспилотных аппаратов с использованием CNN открывает новые возможности для работы в сложных условиях. Алгоритмы на основе сверточных сетей позволяют эффективно прокладывать маршруты в условиях городской застройки, лесных массивов или горной местности, анализируя поступающие с камер данные и идентифицируя безопасные пути движения. Важным аспектом является возможность реального вре-

мени избегания препятствий, когда система должна мгновенно реагировать на внезапно появляющиеся объекты – провода, ветки деревьев, другие летательные аппараты. Современные реализации CNN способны обрабатывать такие сценарии с минимальной задержкой, что значительно повышает безопасность эксплуатации БПЛА.

В области анализа окружающей среды CNN обеспечивают качественно новый уровень картографирования и 3D-реконструкции местности. Обрабатывая поток аэрофотоснимков, нейросетевые алгоритмы могут создавать детализированные карты с классификацией объектов местности, выделением зон особого внимания и автоматическим обнаружением изменений. Это находит применение в геодезии, сельском хозяйстве, лесном хозяйстве и экологическом мониторинге. Особое значение имеет возможность оценки состояния объектов наблюдения – определения степени износа конструкций, выявления повреждений или несанкционированных изменений. Точность современных CNN-моделей в этих задачах достигает уровня, достаточного для практического применения, а скорость обработки позволяет оперативно получать аналитическую информацию. Комбинация этих возможностей делает сверточные нейронные сети незаменимым инструментом для решения широкого круга специальных задач с использованием беспилотных авиационных систем.

Несмотря на значительные успехи в применении сверточных нейронных сетей для беспилотных систем, существует ряд технических ограничений, требующих внимания разработчиков. Основной проблемой остается вычислительная эффективность нейросетевых алгоритмов при работе на бортовом оборудовании, которое имеет жесткие ограничения по массогабаритным характеристикам. Традиционные архитектуры CNN требуют значительных вычислительных ресурсов для обработки видеопотоков в реальном времени, что создает сложности при их внедрении в компактные беспилотные платформы. Вопросы энергопотребления напрямую связаны с автономностью работы БПЛА, поскольку увеличение вычислительной нагрузки приводит к быстрому расходу заряда батарей и сокращению времени выполнения миссии. Эти ограничения особенно критичны для специальных задач, где требуется длительное наблюдение или работа в удаленных районах без возможности подзарядки.

Метод глубокого сжатия нейронных сетей, включающий три ключевых этапа – прунинг, квантование и кодирование Хаффмана, позволяет значительно сократить размер модели без существенной потери точности. Пру-

нинг малозначимых весов устраняет избыточные связи в нейросети, уменьшая вычислительную сложность. Квантование весовых коэффициентов сокращает объем памяти, необходимой для хранения модели, а также ускоряет вычисления за счет использования целочисленных операций вместо операций с плавающей точкой. Применение этих методов в совокупности позволяет достичь сокращения размера модели в десятки раз при сохранении приемлемого уровня точности распознавания [4].

Дополнительным направлением оптимизации является разработка специализированных архитектур нейронных сетей, изначально ориентированных на работу в условиях ограниченных ресурсов. Использование глубинных разделяемых сверток, групповых сверточных слоев и других архитектурных решений позволяет существенно снизить вычислительную нагрузку. Важное значение имеет также аппаратная оптимизация - использование специализированных процессоров для нейросетевых вычислений (нейроускорителей), которые обеспечивают высокую производительность при минимальном энергопотреблении. Современные тенденции включают разработку алгоритмов адаптивного управления вычислительными ресурсами, когда сложность нейросетевой обработки динамически изменяется в зависимости от текущих задач и условий работы. Комплексное применение этих подходов позволяет преодолеть существующие технические ограничения и расширить возможности использования CNN в беспилотных системах для решения специальных задач.

Перспективы развития технологий сверточных нейронных сетей в беспилотных системах связаны с несколькими ключевыми направлениями, каждое из которых открывает новые возможности для выполнения специальных задач. Одним из наиболее значимых трендов является интеграция CNN с другими технологиями искусственного интеллекта, что позволяет создавать более сложные и адаптивные системы. Методы многозадачного обучения с взвешиванием потерь на основе неопределенности демонстрируют высокую эффективность при одновременном решении задач анализа геометрии сцены и семантической сегментации. Этот подход может быть успешно применен в беспилотных системах для комплексного восприятия окружающей среды, где необходимо одновременно обрабатывать данные о пространственной структуре местности, распознавать объекты и оценивать их семантические характеристики. Комбинирование CNN с рекуррентными нейронными сетями (RNN) также перспективно для анализа временных по-

следовательностей видеоданных, что особенно важно для прогнозирования динамики изменений в оперативной обстановке [5].

Важным направлением развития является совершенствование аппаратного обеспечения для ускорения нейросетевых вычислений на борту беспилотных платформ. Современные специализированные процессоры, такие как нейроускорители и графические процессоры с оптимизированной архитектурой для глубокого обучения, позволяют значительно увеличить скорость обработки данных при снижении энергопотребления. Перспективным решением становится использование edge-вычислений, когда анализ визуальной информации происходит непосредственно на борту БПЛА без необходимости передачи больших объемов данных на наземные станции. Это особенно критично для специальных задач, требующих работы в условиях ограниченной или отсутствующей связи. Развитие квантовых вычислений и мемристорных технологий в долгосрочной перспективе может привести к появлению принципиально новых архитектур нейросетевых процессоров, способных выполнять сложные алгоритмы компьютерного зрения с минимальными задержками.

Применение CNN в беспилотных системах расширяется на новые области деятельности, где требуются высокая точность и автономность работы. В сельском хозяйстве нейросетевые алгоритмы позволяют не только мониторить состояние посевов, но и прогнозировать урожайность, выявлять заболевания растений на ранних стадиях и оптимизировать использование ресурсов. В городском хозяйстве беспилотники с CNN используются для автоматического контроля инфраструктуры, выявления повреждений дорожного покрытия и строительных конструкций, а также для планирования городского пространства. Особый потенциал раскрывается в экологическом мониторинге, где сочетание CNN с мультиспектральной съемкой позволяет отслеживать изменения в экосистемах, контролировать незаконную вырубку лесов и оценивать последствия природных катастроф. В военной сфере развитие идет в сторону создания полностью автономных роевых систем, способных координировать действия множества БПЛА для решения комплексных задач разведки, наблюдения и целеуказания.

Перспективным направлением является также разработка самообучающихся систем, способных адаптироваться к изменяющимся условиям работы без необходимости полного переобучения моделей. Методы непрерывного обучения и few-shot learning позволяют беспилотным системам быстро осваивать новые типы объектов и сценариев работы на основе огра-

ниченного количества примеров. Это особенно важно для специальных задач, где заранее невозможно предусмотреть все возможные варианты условий эксплуатации. Интеграция CNN с технологиями reinforcement learning открывает возможности для создания систем, способных самостоятельно вырабатывать оптимальные стратегии выполнения задач в сложных динамических средах. Например, беспилотники могут обучаться оптимальным маршрутам обхода препятствий или тактикам группового взаимодействия в процессе выполнения миссии.

Развитие нормативной базы и стандартов безопасности будет играть ключевую роль в широком внедрении нейросетевых технологий в беспилотные системы. Создание надежных методов верификации и валидации алгоритмов CNN, разработка протоколов кибербезопасности для защиты нейросетевых систем от атак и внедрение этических принципов использования автономных решений станут важными направлениями работы в ближайшие годы. Особое внимание уделяется вопросам объяснимости решений, принимаемых нейросетевыми алгоритмами, что критически важно для ответственных применений в военной и гражданской сферах. Совершенствование методов визуализации и интерпретации работы CNN позволит операторам лучше понимать логику принятия решений автономными системами и повысит уровень доверия к этим технологиям.

Проведенное исследование позволяет сделать ряд важных выводов о возможностях и перспективах применения сверточных нейронных сетей в беспилотных авиационных системах для решения специальных задач. Анализ современных разработок показал, что технологии компьютерного зрения на основе CNN демонстрируют высокую эффективность при обработке визуальных данных в реальном времени, обеспечивая точное распознавание объектов, надежную навигацию в сложных условиях и оперативное принятие решений. Практические примеры внедрения этих технологий подтверждают их значительный потенциал в военной сфере, при мониторинге критической инфраструктуры и в других ответственных применениях. Однако успешная реализация этого потенциала требует комплексного подхода, учитывающего как технические возможности нейросетевых алгоритмов, так и существующие ограничения, связанные с вычислительными ресурсами и энергопотреблением бортовых систем.

Для практического внедрения рассматриваемых технологий рекомендуется сосредоточить внимание на нескольких ключевых аспектах. Прежде всего, необходимо развивать методы оптимизации нейросетевых моделей,

включая квантование, прунинг и использование специализированных архитектур, что позволит обеспечить их эффективную работу на бортовом оборудовании с ограниченными ресурсами. Важное значение имеет разработка комплексных решений по аппаратному ускорению нейросетевых вычислений, включая применение специализированных процессоров и систем охлаждения. Особое внимание следует уделять вопросам безопасности и надежности нейросетевых алгоритмов, разрабатывая методы их верификации и защиты от киберугроз. Для успешного внедрения в практику также необходима разработка соответствующих нормативных документов и стандартов, регламентирующих использование автономных систем с искусственным интеллектом в различных сферах деятельности.

Перспективные направления дальнейших исследований связаны с развитием адаптивных и самообучающихся систем на основе CNN. Особый интерес представляет разработка методов непрерывного обучения, позволяющих беспилотным системам адаптироваться к изменяющимся условиям работы без полного переобучения моделей. Важным направлением является интеграция CNN с другими технологиями искусственного интеллекта, такими как reinforcement learning и генеративные нейросети, что может значительно расширить функциональные возможности беспилотных систем. Перспективным выглядит исследование возможностей распределенных нейросетевых архитектур для группового взаимодействия БПЛА при выполнении сложных задач. Отдельного внимания заслуживают работы по повышению объяснимости и интерпретируемости решений, принимаемых нейросетевыми алгоритмами, что особенно важно для ответственных применений. Дальнейшее развитие этих направлений позволит создать новое поколение интеллектуальных беспилотных систем, способных эффективно решать широкий спектр специальных задач в различных областях человеческой деятельности.

Список используемых источников

1. Авраменко В. С., Чичков Е. С. Применение сверточных нейронных сетей для распознавания объектов беспилотными летательными аппаратами // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов Санкт-Петербургской международной конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 94–98.

2. Howard A. G. et al. MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications // arXiv preprint arXiv:1704.04861. 2017.

3. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement // arXiv preprint arXiv:1804.02767. 2018.

4. Han S. et al. Deep Compression: Compressing Deep Neural Networks with Pruning, Trained Quantization and Huffman Coding // arXiv preprint arXiv:1510.00149. - 2015.

5. Kendall A. et al. Multi-Task Learning Using Uncertainty to Weigh Losses for Scene Geometry and Semantics // CVPR. 2018.

FEATURES OF UNMANNED SYSTEMS APPLICATION FOR SPECIAL TASKS USING CNN-TYPE NEURAL NETWORKS

Lauta O., Vasilyev N., Kungurtsev S., Trukhmanov I.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

Modern approaches to unmanned aerial systems application for special tasks using convolutional neural networks are examined in this article. Special attention is paid to analyzing deep learning-based computer vision capabilities for real-time visual data processing. Key aspects of object recognition algorithms implementation, navigation in complex environments and automated decision-making are investigated. Practical examples of artificial intelligence technologies integration into unmanned platform control systems are presented. Main challenges and development prospects of this field are considered.

Key words: *unmanned aerial vehicles, convolutional neural networks, deep learning, computer vision, autonomous navigation, object recognition, special tasks*

УДК 358.23:004.7
ГРНТИ 78.19.13

НЕОБХОДИМОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА В ОРГАНАХ ВОЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Б. С. Лещинский, Д. В. Ковач, Е. Ю. Тимирзин, В. А. Шамаев

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Статья акцентирует внимание на важности формирования единой информационной среды в структурах военного управления, чтобы улучшить обмен данными, согласованность действий и обоснованность решений в сфере обороны и безопасности. Данная система поможет усилить взаимодействие между подразделениями, гарантировать оперативное реагирование на угрозы и минимизировать вероятность ошибок за счет доступа к актуальным данным.

единое информационное пространство, органы военного управления.

Формирование единой информационной среды в структурах военного управления играет ключевую роль в повышении их результативности. Это обусловлено потребностью в оперативной передаче данных, централизованном хранении информации, согласовании действий различных подразделений и обеспечении информационной безопасности. Такая единая среда способствует улучшению анализа и прогнозирования ситуаций, повышению производительности труда сотрудников и упрощению координации деятельности.

Общее информационное поле в военных управленческих структурах имеет решающее значение для обеспечения успешной деятельности и согласованности действий различных подразделений. Есть несколько факторов, которые подчеркивают значимость его применения.

1. Быстрая передача информации. Общее информационное пространство обеспечивает скоростной и эффективный обмен данными между разными отделами и уровнями руководства. Это помогает оперативно принимать решения и реагировать на изменения в обстановке.

2. Централизованное хранение данных. Все рабочие данные сохраняются в одном месте. Это облегчает доступ к информации и снижает риск ошибок, связанных с неверной трактовкой или пониманием данных.

3. Координация действий. Общее информационное поле содействует согласованию работы различных структур. Это позволяет предотвратить конфликты интересов и гарантирует более рациональное распределение ресурсов.

4. Анализ и прогнозирование. Общее информационное поле обеспечивает необходимыми сведениями для анализа и предсказания развития событий. Это дает возможность руководителям делать взвешенные решения и строить планы, основываясь на достоверной информации.

5. Защита информации. Общее информационное пространство гарантирует сохранность данных от нелегального доступа и утечки. Это существенно для поддержания конфиденциальности информации, предотвращения ее разглашения и обеспечения безопасности процессов.

6. Улучшение рабочей эффективности. Внедрение единой информационной среды помогает повысить производительность труда благодаря оптимизации процессов, автоматизации повторяющихся операций и обеспечению мгновенного доступа к необходимым данным.

7. Обучение и профессиональное развитие. Общее информационное пространство может использоваться для подготовки и повышения квалификации сотрудников. Это дает возможность работникам получать нужные знания и ресурсы, способствуя их карьерному развитию.

8. Скоординированность работы. Создание общей информационной среды способствует лучшей координации действий среди различных подразделений и уровней руководства. Это позволяет достичь согласованности операций и оптимального распределения ресурсов [1].

Рассматривая организационные аспекты создания единого информационного пространства, нельзя обойти стороной проблему недостатка квалифицированных специалистов, владеющих навыками работы с прикладными программами и эксплуатацией АСУ.

Такой специалист, внедряющий что-либо в единое информационное пространство, должен обладать особыми компетенциями.

1. Знание новых технологий. Должен быть в курсе последних инноваций и тенденций в области технологий, чтобы определить, какие из них могут быть полезны для повседневных средств связи.

2. Умение анализировать требования. Должен уметь анализировать требования пользователей и определять, какие технологии могут улучшить пользовательский опыт.

3. Навыки программирования. Должен обладать навыками программирования для создания новых функций и улучшений.

4. Знание стандартов и протоколов. Должен понимать стандарты и протоколы, чтобы обеспечить совместимость новых технологий с существующей инфраструктурой.

5. Умение работать в команде. Часто приходится работать в команде с другими специалистами, такими как дизайнеры, менеджеры проектов. Умение эффективно общаться и сотрудничать с другими членами команды важно для успешного выполнения работы.

6. Понимание пользовательского опыта. Должен понимать, как его разработки могут улучшить пользовательский опыт.

7. Безопасность и конфиденциальность. Должен обеспечивать безопасность и конфиденциальность данных пользователей.

8. Постоянное обучение. Технологии постоянно развиваются, и разработчик должен быть готов к постоянному обучению и развитию своих навыков.

Эти компетенции помогут ему успешно внедрять новые технологии в повседневные средства связи и создавать более удобные и эффективные инструменты для пользователей [2].

Для внедрения новых технологий в единое информационное пространство Вооруженных Сил Российской Федерации потребуется комплекс ресурсов.

1. Кадровые ресурсы:

– специалисты, обладающие необходимыми компетенциями для разработки, внедрения и поддержки новых технологий;
– команда, способная эффективно работать вместе и преодолевать возникающие трудности.

2. Технические ресурсы:

– современное оборудование и инфраструктура, необходимые для разработки и тестирования новых технологий;
– серверное оборудование, сети связи и другие технические средства, обеспечивающие функционирование единого информационного пространства.

3. Финансовые ресурсы:

– бюджет, выделенный на разработку, внедрение и поддержку новых технологий;

– средства на обучение специалистов и обновление технической базы.

4. Нормативно-правовые ресурсы:

– законодательство, регулирующее использование новых технологий в Вооруженных Силах;
– стандарты и протоколы, обеспечивающие совместимость новых технологий с существующей инфраструктурой.

5. Временные ресурсы:

– время, необходимое для разработки, тестирования и внедрения новых технологий;
– готовность к адаптации к изменениям и преодолению возникающих трудностей.

6. Информационные ресурсы:

– доступ к информации о новых технологиях и их применении в различных областях;
– возможность обмена опытом и знаниями с другими специалистами.

7. Организационные ресурсы:

– структура управления, способная координировать разработку и внедрение новых технологий;
– система контроля качества и тестирования новых функций.

8. Ресурсы безопасности и конфиденциальности:

– меры по защите данных пользователей и обеспечению конфиденциальности информации;
– система управления рисками и обеспечения безопасности при разработке и внедрении новых технологий.

9. Ресурсы обучения и развития:

– программы обучения и повышения квалификации специалистов;
– доступ к инструментам, необходимым для постоянного обучения и развития навыков.

10. Интеллектуальные ресурсы:

– идеи и концепции, лежащие в основе новых технологий;
– творческий подход и инновационное мышление, необходимые для разработки новых решений (рис. 1) [3].

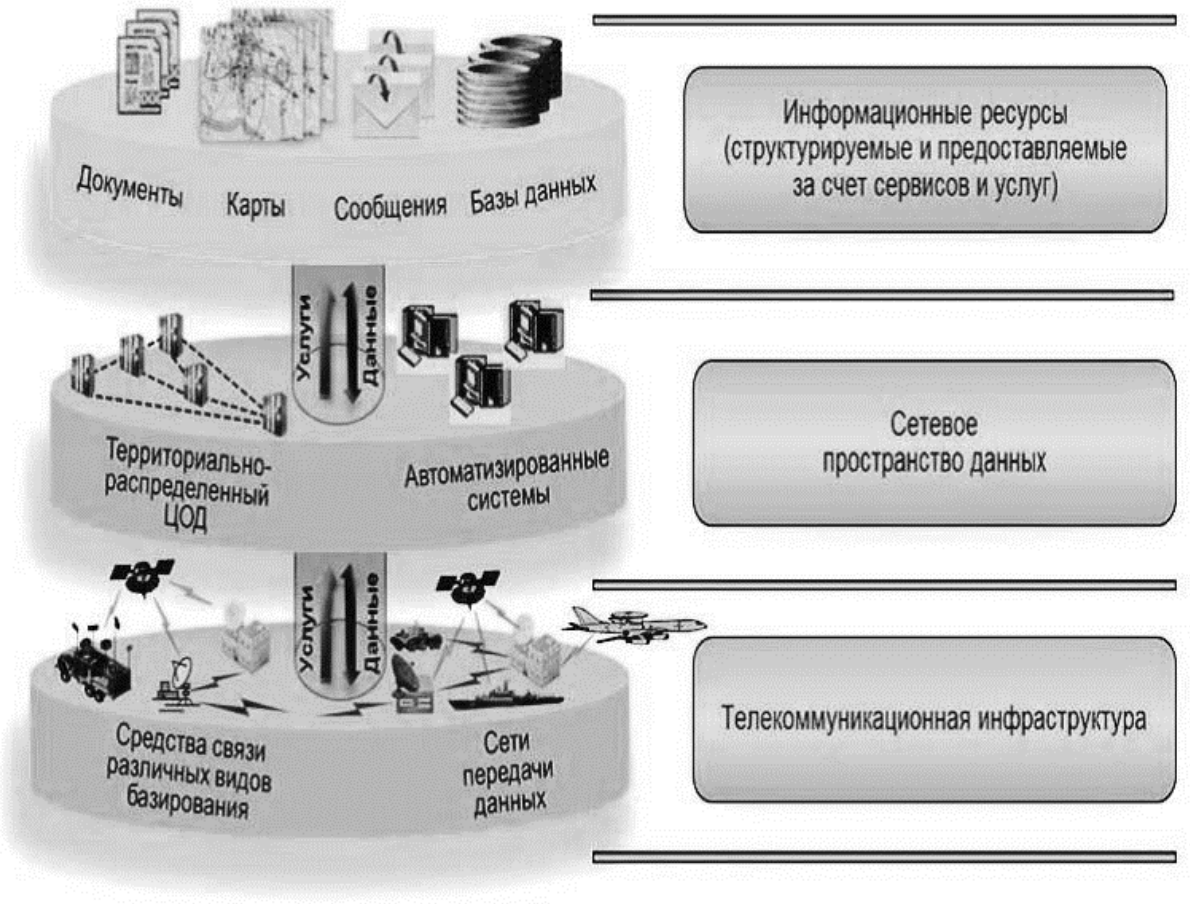


Рис. 1. Единое информационное пространство

Внедрение новых технологий в единое информационное пространство Вооруженных Сил Российской Федерации требует комплексного подхода и использования различных ресурсов. Это позволит создать современную и эффективную систему связи, обеспечивающую потребности военнослужащих и повышающую боеготовность армии, а также организовать системность работы, повысить доступность и сократить затраты ресурсов.

Список используемых источников

1. Смагин О. В. Информационное обеспечение деятельности Вооруженных Сил Российской Федерации: учебное пособие / О. В. Смагин, С. О. Смагин, К. А. Костюченко. СПб.: Изд-во БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 2023. 98 с.

2. Саенко И. Б. Подход к построению оптимальной схемы распределения информационных ресурсов в едином информационном пространстве / И. Б. Саенко, В. В. Николаев // Труды ЦНИИС. Санкт-Петербургский филиал. 2022. Т. 1, № 13. С. 65-68. EDN OFNGBN.

3. Губарев В. В. Модель единого информационного пространства специализированной автоматизированной информационной системы / В. В. Губарев // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. 2022. № 1-2. С. 164-167. EDN LTBRVO.

NECESSITY OF USING UNIFIED INFORMATION SPACE IN MILITARY COMMAND STRUCTURE

Leshchinsky B., Kovach D., Timirzin E., Shamaev V.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The article discusses the need to establish a unified information system within the military administration. The authors highlight the significance of such a system in facilitating effective information sharing, coordinating activities, and enabling informed decision-making within the realm of defense and security matters.

Key words: *unified information space, military command structure*

УДК 004.932
ГРНТИ 28.23.15

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ЗАДАННЫМИ КРИТЕРИЯМИ КАЧЕСТВА

В. Л. Литвинов[1], Д. Е. Посвященный[2]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
[2]Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Целью исследования является разработка эффективных алгоритмов восстановления искаженных изображений, способных адаптироваться к уровню и типам искажений и соответствовать заданным критериям качества. Предлагается использование алгоритмов и подходов, основанных на современных методах глубокого обучения, а также методах оптимизации и анализа данных. Результаты исследования позволят улучшить качество восстановленных изображений по сравнению с существующими методами. Особое внимание уделяется метрикам качества изображений, позволяющим оценить степень восстановления.

нейронные сети, восстановление, метрики оценки качества, изображения

С развитием технологий повышаются не только объемы графических данных, но и стандарты визуального представления. Это создает необходимость в разработке более эффективных и точных методов восстановления изображений.

Выбранная тематика обладает высокой научной значимостью и актуальностью, поскольку обработка и анализ изображений играют ключевую роль во многих областях, включая медицину, робототехнику, охранные системы видеонаблюдения и контроля, графический дизайн, социальные медиа, реставрационная деятельность и многие другие.

Искажения изображений могут возникать по ряду причин и факторов, включая шум, размытость, изменения освещения и артефакты сжатия. Искажения также варьируются по степени выраженности, что приводит к различной степени искаженности изображений. Эти проблемы ухудшают качество визуального восприятия и затрудняют последующий анализ изображений.

Основная цель данного исследования заключается в создании алгоритмов для восстановления изображений, которые будут учитывать специфику различных типов искажений и обеспечивать высокое качество восстановленных изображений. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

– анализ существующих методов восстановления изображений, включая как традиционные алгоритмы обработки изображений, так и современные нейросетевые подходы;
– разработка новых подходов к восстановлению изображений;
– создание и тестирование алгоритмов восстановления изображений, сочетающих традиционные и современные методы;
– оценка качества восстановленных изображений.

В ходе исследования используются как традиционные методы обработки и анализа изображений, так и современные подходы на основе машинного обучения. Особое внимание будет уделено метрикам качества изображений, позволяющим объективно оценить степень восстановления.

Традиционные методы включают фильтрацию и интерполяцию. Одним из популярных методов является медианный фильтр, который позволяет устранять шум, заменяя значение пикселя на медианное значение среди его соседей в окне заданного размера:

$$I'(x,y) = median\{I(x+i, y+j) \mid (i,j) \in W\},$$

где $I(x,y)$ – исходное изображение в координатах (x,y), $I'(x,y)$ – обработанное изображение в координатах (x,y), W – окно фильтрации, а i, j – индексы пикселей внутри окна фильтрации.

Еще одним из широко используемых методов подавления шума является гауссово размытие, которое определяется следующим уравнением:

$$I'(x,y) = \sum_{i=-k}^{k} \sum_{j=-k}^{k} G(i,j) I(x+i, y+j),$$

где $I(x,y)$ – исходное изображение в координатах (x,y), $I'(x,y)$ – обработанное изображение в координатах (x,y), $G(i,j)$ – ядро Гаусса, k – размер окна свертки, а i, j – индексы пикселей внутри окна фильтрации.

Гауссов фильтр заменяет значение каждого пикселя на взвешенную сумму значений его соседей, где веса определяются ядром Гаусса:

$$G(i,j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{i^2+j^2}{2\sigma^2}},$$

где σ – стандартное отклонение гауссового распределения (степень размытия), а i, j – индексы пикселей.

Традиционные методы эффективно устраняют определенные типы искажений, но имеют ряд ограничений. Основным их недостатком является жест-

кое детерминированное поведение. Они не анализируют структуру изображения и плохо справляются со сложными искажениями, такими как потеря значительных фрагментов изображения или сильные артефакты сжатия.

Современные подходы на основе машинного обучения, включая сверточные нейронные сети (CNN) и генеративные состязательные сети (GAN), демонстрируют высокую эффективность в устранении сложных искажений благодаря способности анализировать сложные паттерны и структуру изображений. Такие методы способны адаптироваться к различным типам искажений, улучшая качество восстановленных изображений.

В отличие от традиционных методов, нейросетевые модели способны воссоздавать отсутствующие детали. Это позволяет получить изображения, близкие к оригиналу по визуальному восприятию, с высокой четкостью и правильной цветопередачей [1].

Однако, современные подходы также имеют недостатки и ограничения. В частности, при недостаточной репрезентативности обучающих данных модель может генерировать артефакты или неестественные детали. Также для обучения модели требуются мощные графические процессоры и большой объем обучающих данных [2].

В ходе исследования были разработаны алгоритмы, которые продемонстрировали улучшение качества восстановленных изображений по сравнению с существующими методами. Например, использование комбинации фильтра medianBlur с моделью GFPGANer [3] показало высокую эффективность в восстановлении сложных искажений, таких как размытость и шум. Использование медианного фильтра на предварительном этапе обработки позволило сгладить резкие шумовые артефакты и уменьшить влияние случайных искажений, что способствовало улучшению дальнейшей работы нейросетевой модели. Результат работы алгоритма представлен на рис. 1, 2.

Рис. 1. Размытое изображение (ksize = 15) и восстановленное с использованием фильтра medianBlur и GFPGANer

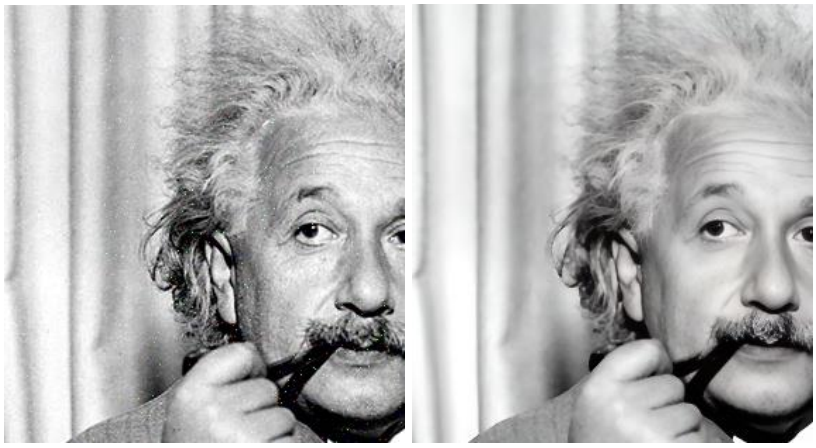


Рис. 2. Зашумленное изображение (стандартное отклонение гаусовского шума = 0.4) и восстановленное с использованием фильтра medianBlur и GFPGANer

Визуальное сравнение результатов показало, что предложенная комбинация методов позволяет получить изображения с высокой детализацией и минимальными остаточными искажениями.

Таким образом, данное исследование направлено на решение актуальной проблемы восстановления изображений с учетом современных требований к качеству цифровых данных. Предполагается, что использование современных методов в сочетании с традиционными алгоритмами обработки изображений позволит значительно улучшить качество восстановленных изображений.

Список используемых источников

1. Ledig C., Theis L., Huszar F., et al. Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2017. С. 4681–4690.

2. Zhang L., Zuo W., Chen Y., & Meng D. Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising // IEEE Transactions on Image Processing. 2019. С. 3142–3155.

3. Wang X., Zhang Y., Shen X., et al. GFPGAN: Towards Real-World Blind Face Restoration with Generative Facial Prior // GitHub Repository, 2021. URL: https://github.com/TencentARC/GFPGAN (дата обращения 25.01.2025).

IMAGE RESTORATION METHODS WITH SPECIFIED QUALITY CRITERIA

Litvinov V.[1], Posvyashchenny D.[2]
[1]The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications
[2]Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

This research aims to develop efficient algorithms for restoring distorted images, capable of adapting to different types and levels of distortions while meeting predefined quality criteria. The proposed approach leverages modern deep learning techniques, along with optimization and data analysis methods. The results will improve the quality of restored images compared to existing methods. Special emphasis is placed on image quality metrics to objectively evaluate the degree of restoration.
Key words: *neural networks, recovery, quality metrics, images*

УДК 004.021
ГРНТИ 49.13.13

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИЗЛУЧАТЕЛЯ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

В. А. Мешалкин, И. В. Галушко, А. С. Мандриченко, А. А. Шмидт

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Фазированные антенные решетки широко применяются в радиолокации, системах спутниковой связи и беспроводных технологиях. Оптимизация базового излучателя позволяет достичь необходимых характеристик диаграммы направленности, минимизировать уровень боковых лепестков и улучшить согласование нагрузки. Применение генетического алгоритма дает возможность проводить глобальный поиск оптимальных решений с учетом сложных электромагнитных взаимодействий и разнообразных вариантов нагрузок в структуре излучателя.

антенная решетка, диаграмма направленности, язык Python, модуль Numpy, модуль Matplotlib

Активные фазированные антенные решетки (АФАР) представляют собой передовую технологию в области радиосвязи и радиолокации, обеспечивая высокую точность и гибкость в управлении радиоволнами. Эти системы состоят из множества излучателей, каждый из которых может изменять фазу и амплитуду излучаемого сигнала, что позволяет формировать диаграмму направленности в реальном времени без механического перемещения антенны [1].

Однако проектировщики АФАР сталкиваются с рядом определенных проблем. Во-первых, необходимость точного моделирования и симуляции работы решетки требует использования сложных программных инструментов и значительных вычислительных ресурсов. Во-вторых, разработка алгоритмов управления для обеспечения оптимальной работы всех элементов решетки является сложной инженерной задачей. Кроме того, проектировщики должны учитывать ограничения по габаритам и весу, особенно при применении в сферах авиации и космонавтики, что требует инновационных подходов к конструированию и материаловедению.

Также важным аспектом является необходимость минимизации взаимных помех между элементами решетки, требующая применения сложных

методов электромагнитного моделирования. В дополнение, к этим вызовам, проектировщики сталкиваются с проблемами, связанными с обеспечением надежности и долговечности системы, особенно при работе в экстремальных условиях.

Разработка ФАР является сложным итерационным процессом. На начальном этапе проектирования перед разработчиками остро стоят вопросы правильного выбора состава и структуры ФАР. Проведение аналитических расчетов, позволяющих сформировать оптимальный технический облик антенны, зачастую не представляется возможным в силу их сложности и большой трудоемкости. В связи с этим актуальной является задача выбора методов, позволяющих оптимизировать расчет оптимальной структуры излучателя АФАР.

Использование генетического алгоритма для решения этой задачи позволяет избежать локальных минимумов, и гибкости в работе с разными типами параметров. Он подходит для задач с высокой размерностью, легко адаптируется к сложным структурам излучателя и учитывает несколько критериев оптимизации одновременно [2]. Благодаря кроссинговеру и мутации алгоритм способен находить нестандартные решения, недоступные аналитическим методам [3]. Работа алгоритма представлена на рис. 1.

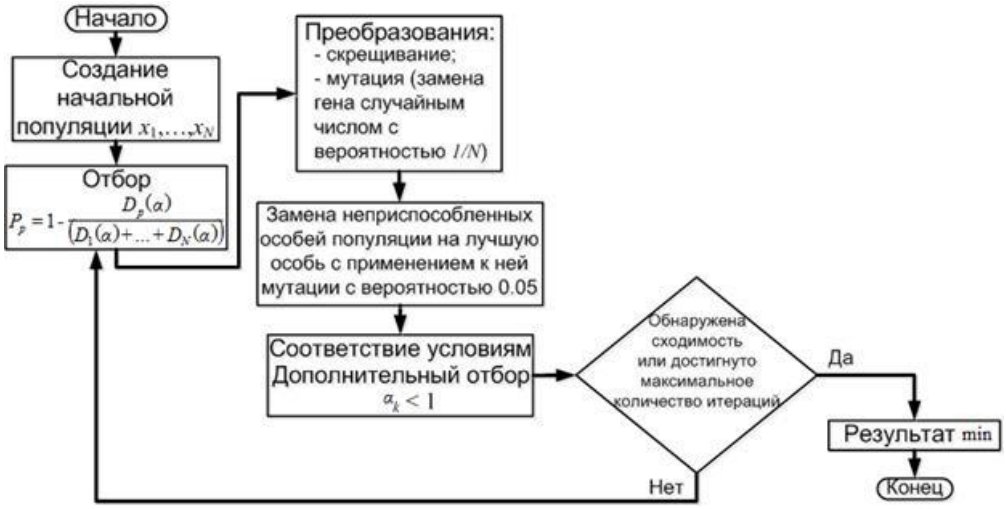


Рис. 1. Блок-схема работы генетического алгоритма

Работа алгоритма начинается с формирования начальной популяции из 100 особей, каждая из которых представляет собой возможную конфигурацию излучателя с различными комбинациями нагрузок, включаемых по его длине.

При определении функции приспособленности для каждой особи рассчитываются характеристики диаграммы направленности, коэффициент от-

ражения и уровень боковых лепестков. По ним будет производиться сравнение и отбор особей с характеристиками, удовлетворяющих условиям задачи. Функция приспособленности учитывает максимальное усиление, минимальный уровень боковых лепестков и соответствие требованиям по согласованию.

Селекция производится с применением метода турнирного отбора, при котором несколько случайных особей сравниваются между собой, и лучшая из них переходит в следующий этап.

Скрещивание осуществляется по одноточечному или двухточечному принципу, при которых параметры нагрузок комбинируются между родительскими особями. Мутация параметров нагрузок задана с вероятностью $P_m = 0{,}05$, что позволяет исследовать больше возможных решений.

Для формирования новой популяции отбираются лучшие особи и формируется новое поколение, после чего процесс повторяется до достижения заданного числа поколений $N = 500$.

Для оптимизации структуры излучателя использовались различные конфигурации нагрузок, включающие:

– распределенные резистивные нагрузки;
– реактивные элементы (индуктивности и емкости);
– их разнообразные комбинации.

Распределение нагрузок по длине излучателя варьируется, что позволяет исследовать их влияние на характеристики антенны. Генетический алгоритм позволяет определить оптимальное расположение и параметры нагрузок, обеспечивающие улучшенные характеристики диаграммы направленности и согласования.

Применение генетического алгоритма для проектирования базового излучателя фазированной антенной решетки с различными нагрузками демонстрирует его эффективность в нахождении оптимальных решений. Метод позволяет улучшить характеристики антенн и повысить направленные свойства.

Список используемых источников

1. Баланин В. А. Антенны с фазированными решетками. М.: Радио и связь, 1989.

2. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы / Под ред. В. М. Курейчика. 2-е изд., исправл. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 368 с. ISBN 978-5-9221-0510-1.

3. Гольдберг Д. Э. Генетические алгоритмы в задачах оптимизации и поиска. М.: Вильямс, 2003.

GENETIC ALGORITHM APPLICATION IN THE DESIGN OF ACTIVE PHASED ANTENNA ARRAY RADIATOR

Galushko I., Mandrichenko A., Meshalkin V., Shmidt A.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

Phased antenna arrays are widely used in radar, satellite communications and wireless technologies. Optimisation of the base radiator allows to achieve the required characteristics of the radiation pattern, minimise the level of side lobes and improve load matching. The use of genetic algorithm enables a global search for optimal solutions taking into account complex electromagnetic interactions and a variety of load variants in the transmitter structure.

Key words: *antenna array, radiation pattern, Python language, Numpy module, Matplotlib module*

УДК 94(47).073/62(09)
ГРНТИ 28.23.02

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО: ИСТОРИЧЕСКАЯ ПЕРСПЕКТИВА И СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ

В. И. Мосеев, Э. Р. Устименко

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Статья рассматривает развитие искусственного интеллекта (ИИ) сквозь призму его влияния на информационное пространство. Анализируются ключевые исторические этапы становления ИИ, а также его роль в трансформации цифровой среды, включая распространение информации, автоматизацию анализа данных, персонализацию контента и вызовы, связанные с дезинформацией. Особое внимание уделяется этическим аспектам и социальным последствиям использования ИИ в современном мире.

искусственный интеллект, цифровая трансформация, информационное общество, дезинформация, автоматизация, цифровая экология, этика ИИ

Проблема искусственного интеллекта (ИИ) уходит корнями в размышления древних философов о природе разума и возможности его воспроизведения. Аристотель выдвигал идеи о логических схемах мышления, ставших основой формальной логики и алгоритмов. В XVII веке Рене Декарт сравнивал разум с машиной, работающей по заданным правилам, а Готфрид Лейбниц предложил создать универсальный символический язык для формализации процесса рассуждения [1].

Параллельно с философскими идеями развивались технические попытки имитации интеллекта. В XVIII веке инженеры создавали механизмы, воспроизводящие когнитивные функции человека. Известный пример – шахматный автомат Вольфганга фон Кемпелена, который, несмотря на оказавшуюся мистификацию, демонстрировал интерес к механическому моделированию разума [2]. В XIX веке Чарльз Бэббидж разработал концепцию аналитической машины – прообраза современного компьютера, а его соратница Ада Лавлейс впервые заговорила о возможности программирования вычислительных устройств. Эти идеи подкреплялись развитием математической логики: работы Джорджа Буля заложили основы двоичной алгебры, которая позже станет базой для построения цифровых вычислительных систем.

В первой половине XX века начался переход от механических устройств к формированию теоретических основ искусственного интеллекта. В 1936 году Алан Тьюринг предложил математическую модель абстрактного вычислителя, известную как машина Тьюринга. Позднее, в 1950 году, Тьюринг предложил тест, предназначенный для оценки способности машины к имитации человеческого мышления. Хотя этот критерий вызвал множество споров (например, «Китайская комната»), он стал одной из первых попыток определить границы между искусственным и естественным интеллектом [3].

Появление первых ЭВМ в середине XX века дало мощный толчок к развитию ИИ, показав, что компьютеры могут не только считать, но и моделировать когнитивные процессы. Важную роль сыграл Джон Маккарти, организовавший в 1956 году Дартмутскую конференцию, которая стала отправной точкой для ИИ как научной дисциплины. Именно Маккарти ввел термин *«artificial intelligence»,* обозначив моделирование не только вычислений, но и интеллектуальных способностей человека. Дартмутская конференция объединила ведущих ученых того времени – Марвина Ли Минского, Клода Шеннона, Натаниэля Рочестера и Герберта Саймона, а их работы заложили основы для дальнейшего развития направления. В последующие десятилетия были созданы первые экспертные системы, способные решать узкоспециализированные задачи, а также алгоритмы, имитирующие процессы логического вывода. В 1960-е годы исследователи начали разрабатывать системы машинного перевода, распознавания речи и изображений, а в 1970-е появились первые нейросетевые модели, хотя из-за ограниченных вычислительных ресурсов они не получили широкого распространения [4].

Исследователи осознали, что для создания сложных интеллектуальных систем недостаточно традиционного программирования – машине было необходимо научиться самостоятельно выявлять закономерности в данных. Это привело к разработке машинного обучения и нейросетевых моделей, стремящихся воспроизвести работу биологического мозга. В середине XX века Фрэнк Розенблатт создал перцептрон – систему, имитирующую способность нейронов к обучению [3]. Однако ранние модели оказались неспособны решать сложные задачи, требующие многослойной обработки информации, что временно снизило интерес к нейросетям.

Возрождение этой идеи произошло в 1980-е годы, когда были разработаны алгоритмы обратного распространения ошибки, позволившие тренировать многослойные нейронные сети [3]. По-настоящему революционные

изменения начались уже в XXI веке, когда резкий рост вычислительных мощностей и доступность больших объемов данных позволили создать архитектуры глубокого обучения. Современные нейросети с миллионами параметров демонстрируют выдающиеся способности в анализе и генерации информации, распознавании образов и принятии решений.

В XXI веке искусственный интеллект превратился в ключевую технологию, влияющую на различные сферы жизни. Если ранее акцент был на экспертных системах для узких задач, то сегодня ИИ ориентирован на адаптацию, обучение и создание контента. Этот сдвиг стал возможен благодаря росту вычислительных мощностей и совершенствованию алгоритмов. Развитие глубокого обучения позволило создавать системы, способные не только анализировать информацию, но и генерировать ее – современные модели синтезируют текст, создают изображения, сочиняют музыку и прогнозируют научные открытия.

Генеративные модели, такие как трансформеры (*GPT*), изменили представления о возможностях машинного интеллекта. Они не просто интерпретируют данные, но и создают новый контент, приближаясь к границам человеческого творчества. Машины становятся не только инструментами анализа, но и активными участниками процесса информационного обмена.

Информационное пространство представляет собой сложную систему, в которой взаимодействуют знания, данные, технологии и коммуникационные процессы. Традиционный аспект информационного пространства был связан с линейностью передачи знаний: книги, газеты, радио и телевидение формировали централизованные источники информации, определяющие мировоззрение общества. Доступ к знаниям регулировался институтами, обеспечивающими фильтрацию и систематизацию данных. В этом контексте информация распространялась относительно медленно, а ее достоверность подтверждалась авторитетными источниками.

Цифровая революция изменила природу информационного взаимодействия, сделав информацию децентрализованной и общедоступной. В условиях непрерывного обмена данными ключевым становится не только доступ к информации, но и ее фильтрация и интерпретация. Искусственный интеллект играет здесь фундаментальную роль, выступая посредником между человеком и массивами данных. Алгоритмы персонализации, автоматизированный анализ текстов и визуального контента, а также предсказательная аналитика формируют новую логику работы информационного простран-

ства, где интеллектуальные технологии заменяют традиционные способы обработки знаний.

Современные алгоритмы способны не просто передавать информацию, а активно участвовать в ее создании, адаптации к аудитории и интерпретации. Произошло резкое изменение медийного ландшафта, где традиционные источники информации утратили монополию на производство контента, а динамика информационного обмена значительно ускорилась.

Автоматизированные системы генерации текста, изображения и видео сделали возможным создание контента без участия человека. Новостные материалы, статьи, рекламные сообщения и даже художественные произведения теперь могут разрабатываться нейросетями, способными анализировать стилистику, контекст и потребности аудитории. Это привело к увеличению объема информации, но одновременно поставило вопросы о подлинности и достоверности создаваемых данных.

ИИ кардинально изменил сферу медиа, сделав возможной автоматизацию журналистики и массовую генерацию контента [5]. Алгоритмы создают тексты новостей, статей, видеосюжеты и художественные произведения в считанные секунды, анализируя разнообразные данные, что многократно ускоряет производство контента и снижает затраты редакций. Технологии обработки естественного языка позволяют адаптировать статьи под аудиторию, повышая их вовлеченность. Но автоматизированная журналистика несет риски: алгоритмы подвержены искажениям, что может приводить к некорректной интерпретации фактов и формированию однобокой повестки. Кроме того, отсутствие критического мышления делает ИИ уязвимым перед дезинформацией и манипуляциями.

Еще одной угрозой становится рост объемов низкокачественного контента. Генеративные модели позволяют создавать тексты и изображения в неограниченных количествах, и это усложняет задачу фильтрации информационного шума.

Современное информационное пространство характеризуется необходимостью эффективной обработки данных. Искусственный интеллект играет ключевую роль в фильтрации информации, позволяя пользователям получать персонализированный контент на основе их интересов и поведения. Алгоритмы персонализации формируют индивидуальные новостные ленты, рекомендации в социальных сетях и подборки материалов на платформах потокового вещания. Эти технологии опираются на обработку естественного языка, машинное обучение и нейросети, что позволяет автоматически

определять релевантность контента и блокировать нежелательную информацию. Персонализация контента повышает удобство поиска информации, но одновременно приводит к формированию информационных пузырей, когда пользователь сталкивается только с подтверждением своих убеждений. Способы минимизации алгоритмической предвзятости включают несколько направлений: диверсификация обучающих данных, регулярный аудит моделей, механизмы предоставления альтернативного контента и т.д. [6]

Развитие ИИ также ускорило распространение дезинформации. Генеративные модели способны создавать правдоподобные тексты, изображения и видео (включая дипфейки). Однако искусственный интеллект может играть ключевую роль в борьбе с фейками. Современные алгоритмы анализа данных позволяют выявлять признаки манипуляции, определять источник распространения ложных сведений и блокировать недостоверные материалы. Методы обработки естественного языка позволяют анализировать тональность текстов, выявлять противоречия и проверять достоверность фактов, сопоставляя их с проверенными источниками.

С развитием ИИ обострились и этические вопросы. Проблема конфиденциальности заключается в том, что алгоритмы способны собирать и анализировать большие объемы личных данных, прогнозируя поведение пользователей без их согласия. Таким образом, создается угроза нарушения права на частную жизнь. Также сохраняется риск алгоритмической предвзятости: обучаясь на исторических данных, ИИ может воспроизводить социальные стереотипы, что приводит к несправедливым решениям в различных сферах нашей жизни.

Развитие искусственного интеллекта поставило перед мировым сообществом вопрос о необходимости его правового регулирования. С одной стороны, технологии ИИ открывают широкие возможности для автоматизации, анализа данных и повышения эффективности различных сфер жизни, а с другой – несут риски, связанные с нарушением конфиденциальности, дискриминацией, цифровым контролем и ответственностью за действия автономных систем. В этих условиях государства и международные организации стремятся выработать комплексные подходы к регулированию искусственного интеллекта.

На международном уровне ключевую роль в формировании принципов регулирования ИИ играют ООН, Европейский союз, ОЭСР и ЮНЕСКО. Важным шагом стало принятие ЮНЕСКО в 2021 году «Рекомендации об этических аспектах искусственного интеллекта», в которых подчеркивается

необходимость справедливости, прозрачности и защиты прав человека при разработке и использовании ИИ. Европейский союз разрабатывает Закон об искусственном интеллекте (*AI Act*), который классифицирует ИИ-системы по уровням риска и устанавливает жесткие ограничения на применение технологий, способных угрожать правам и свободам граждан. Например, системы для социального рейтингования и прогнозирования преступлений в этом законе отнесены к категории недопустимого риска и подлежат запрету. ОЭСР сформировала принципы ИИ, рекомендующие открытость алгоритмов и защиту персональных данных [7].

Национальные стратегии регулирования ИИ варьируются в зависимости от политики государств. США ориентируются на развитие инноваций, регулируя ИИ преимущественно в секторальном формате, например, через законы о конфиденциальности данных и биометрических технологиях. Китай, напротив, активно использует ИИ для цифрового контроля, вводя строгие государственные стандарты для алгоритмов обработки информации и социальных рейтинговых систем. В 2022 году были введены жесткие ограничения на работу рекомендательных алгоритмов в социальных сетях и онлайн-платформах.

В России развитие и регулирование искусственного интеллекта осуществляется в рамках стратегических инициатив и нормативно-правовых актов, направленных на создание условий для разработки и внедрения ИИ-технологий. 10 октября 2019 года был издан Указ Президента РФ № 490, утвердивший Национальную стратегию развития искусственного интеллекта на период до 2030 года, а с 1 октября 2023 года в России вступил в силу закон о регулировании рекомендательных технологий, основанных на инструментах ИИ.

Регулирование искусственного интеллекта остается сложной задачей: технологии развиваются быстрее, чем появляются законы. Для эффективного регулирования требуется международное сотрудничество, унификация стандартов и постоянный диалог между разработчиками, государствами и обществом.

Список используемых источников

1. Маковельский А. О. История логики. Жуковский; М.: Кучково поле, 2004. 480 с.

2. Вольфганг фон Кемпелен // Федерация шахмат России. Персона дня – 23 января 2025. URL: https:// https://ruchess.ru/persons_of_day/kempelen_pd/?version=desktop

3. Искусственный интеллект. Инноватика: учебное пособие / Ю. А. Антохина, М. Л. Кричевский, Ю. А. Мартынова, А. А. Оводенко. Санкт-Петербург: ГУАП, 2023. 320 с.

ISBN 978-5-8088-1830-9. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/341003 (дата обращения 03.03.2025).

4. McCarthy J. Artificial intelligence: A General Survey. Stanford: Stanford University, 2000. URL: http://jmc.stanford.edu/artificial-intelligence/reviews/lighthill.pdf [дата обращения 03.03.2025].

5. Давыдов С. Г., Замков А. В, Крашенинникова М. А., Лукина М. А. Использование технологий искусственного интеллекта в российских медиа и журналистике // Вестник Московского университета. Серия 10. Журналистика. 2023. № 5. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-tehnologiy-iskusstvennogo-intellekta-v-rossiyskih-media-i-zhurnalistike (дата обращения 09.03.2025).

6. Харитонова Ю. С., Савина В. С., Паньини Ф. Предвзятость алгоритмов искусственного интеллекта: вопросы этики и права // Вестник Пермского университета. Юридические науки. 2021. № 53. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/predvzyatost-algoritmov-iskusstvennogo-intellekta-voprosy-etiki-i-prava (дата обращения 10.03.2025).

7. Филипова И. А. Правовое регулирование искусственного интеллекта: учебное пособие, 3-е издание, обновленное и дополненное. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2025. 321 с.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND INFORMATION SPACE: HISTORICAL PERSPECTIVE AND MODERN CHALLENGES

Moseev V., Ustimenko E.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article examines the development of artificial intelligence (AI) through the prism of its impact on the information space. It analyzes the key historical stages of AI development, as well as its role in transforming the digital environment, including the dissemination of information, automation of data analysis, personalization of content, and challenges associated with disinformation. Particular attention is paid to the ethical aspects and social consequences of using AI in the modern world.

Key words: *artificial intelligence, digital transformation, information society, disinformation, automation, digital ecology, AI ethics*

УДК 621.391.28
ГРНТИ 49.33.29

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СИГНАЛЬНОГО ТРАФИКА В РАДИОКАНАЛЕ LTE

Н. Н. Мошак[1], Е. В. Давыдова[1], С. Р. Рудинская[2]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
[2] Белорусская государственная академия связи

Предложен метод построения функционального критерия эффективности использования пропускной способности радиоканала мобильной сети 4G LTE сигнальным трафиком на базе архитектуры плоскости управления радиоканалом сети для оценки его влияния на параметры основных информационных потоков. Строится модель сигнального трафика в радиоканале LTE.

LTE, архитектура плоскости управления радиодоступа LTE, протоколы NAS, RRC, критерий эффективности LTE

Наличие нескольких сервисных потоков скорости передачи GBR (Guaranteed Bit Rate) и (non-GBR) в сети LTE, требующих различных подходов к их распределению и переносу, приводит к тому, что функциональный или логический профиль архитектуры сети LTE, как и любой мультисервисной сети связи (МСС), сетей следующего поколения (NGN, next generation networks), должен включать в себя, по крайней мере, три дополнительные базовые функции: функцию «управления резервированием ресурса», функцию «контроля резервирования ресурса» и функцию параметризации или «совмещения» сервисных потоков. Это связано со спецификой организации мультимедийных соединений в МСС [1]. В сети LTE функция «управления резервированием ресурса» реализуется динамически с использованием сигнальных протоколов NAS (Non-access stratum) – слой без доступа и RRC (Radio Resource Control) – контроль радиоресурсов на фазе установления EPS (Evolved Packet System) канала с задействованием соответствующих узлов ядра сети.

Существует два типа каналов EPS: канал по умолчанию с негарантированной скоростью передачи потоков данных non-GBR или поддержку их доставки с максимальным усилием (создается при подключении мобильного устройства к сети LTE) и выделенные каналы с гарантированной скоростью передачи потоков данных GBR (устанавливаются по требованию для предо-

ставления услуги более высокого качества сервиса QoS). Функция управления процессом установления мультимедийного соединения и резервирования требуемых сетевых ресурсов в сети LTE реализована явно динамически при помощи сигнальных протоколов NAS/RRC/LTE. Она вводится на верхнем уровне логической структуры плоскости управления сети LTE. Отметим, что протоколы сигнализации, транслируя сигнальный запрос на установление EPS-канала (носителя) определенного типа с требуемыми качественными параметрами, управляют и резервированием ресурсов, задействуя для этих целей различные узлы и механизмы сети.

Протоколы слоя без доступа NAS используется для передачи сигналов между пользовательским оборудованием UE (User Equipment) и блоком управления мобильностью MME (Mobility Management Entity) для доступа к сети LTE/E-UTRAN. Фактически сигнальные протоколы взаимодействия UE с сетью LTE распределены в трех протокольных уровнях:

– MM (Mobility Management) – управление мобильностью;
– SM (Session management) – управление сеансом связи;
– RRC (Radio resource Control) – управление радиоресурсом.

Сигнальные протоколы уровней MM и SM имеют конечные точки UE и MME. Сигнальные протоколы, которые используются между UE и eNB носят название Access Stratum (AS) протоколы. Сигнальными сообщениями уровня RRC обмениваются между собой UE и базовая станция eNB. Протокол RRC используется для передачи общей NAS информации (информации, которая относится ко всем UE) и специальной (dedicated) NAS информации (информации, которая относится только к определенным UE). Сигнальные протоколы являются своеобразным инструментом, который передает информацию о том, какой определенный сервис заказывает пользователь и в какое место его доставить. С точки зрения стека протоколов, NAS является самым высоким слоем плоскости управления между UE и MME.

Разработка функциональных критериев эффективности использования пропускной способности радиоканала сети LTE трафиком различных классов, в частности, использования пропускной способности радиоканала сети LTE сигнальным трафиком RRC, является одной из важнейших задач при построении моделей процессов их передачи. Указанный критерий строится на базе архитектуры плоскости управления радиодоступа сети LTE с учетом методик, предложенных в [1-4]. Рассмотрим процесс формирования уровневых критериев эффективности использования пропускной способности радиоканала сообщениями сигнализации RRC.

Уровень RRC формирует и отправляет RRC PCU на уровень PDCP. Обозначим длину RRC PCU буквой L_{RRC}. Уровень PDCP добавляет заголовок PDCP к полученному RRC SCU и формирует PDCP PCU длины $L_{RRC} + H_{PDCP}$, который передает на уровень RLC. Кроме того, при активации защиты здесь обеспечивается шифрования сигнальных и пользовательских блоков данных. Уровень RLC применяя протокол AM, формирует из PDCP SCU блок данных RLC AM PDU добавляя заголовок протокольного блока $L_{RRC} + H_{PDCP}+H_{AMRLC}$. Кроме того, он задействует протокол ARQ для защиты от ошибок в радиоканале, работу которого будем оценивать коэффициентом β^{RRC}.

Уровень MAC. Сформированный протокольный блок уровня RLC AM PDU поступает в соответствующую очередь буферной памяти для обслуживания планировщиком подуровня MAC. Процесс обслуживания очереди учитывается коэффициентом удельной загрузки радиоканала сигнальным трафиком ρ^{RRC}, который вносит потоковую избыточность в информационное окружение сети. Подуровень MAC осуществляет также исправление ошибок посредством HARQ. Подуровень MAC мультиплексирует сервисные протокольные блоки MAC SDU из одного или разных логических каналов и формирует свой протокольный блок данных MAC PDU, который называется транспортным блоком TB. При этом он добавляет заголовок MAC и «концевик» с проверочным кодом CRC – $L_{RRC} + H_{PDCP}+H_{AMRLC} + H_{MAC} + H_{CRC}$ и, внося при этом, свою долю протокольной избыточности.

Физический уровень. Уровень MAC отправляет MAC PDU на физический уровень для передачи по физическим каналам. Физический уровень из сервисных примитивов MAC SDU формирует на каждом временном интервале планирования ресурсов слоты субкадра, которые объединяются в протокольный блок уровня – радиокадр. Протокольную избыточность физического уровня будем учитывать соответствующим размером заголовка H_{PHY}. В результате получим длину субкадра с учетом задействования всей вертикали стека протоколов архитектуры панели пользователя при передаче сигнального сообщения RRC в виде $L_{RRC} + H_{PDCP}+H_{AMRLC} + H_{MAC} + H_{CRC} + H_{PHY}$.

Кроме того, физический уровень отвечает за адаптацию линии (AMC), управление мощностью, поиск соты (для целей начальной синхронизации и передачи обслуживания). Выбор схемы модуляции сигналов с учетом качества канала UE, увеличивает или уменьшает скорость передачи данных пользователя в радиоканале. Влияние качества канала на эффективность пе-

редачи данных будем оценивать на физическом уровне коэффициентом β^{MMC}.

Таким образом, используя предложенную методику, критерий эффективности использования пропускной способности радиоканала трафиком сигнализации RRC, с учетом вносимой им временной, протокольной и потоковой избыточности в сетевое окружение сети имеет вид:

$$K^{RRC} = \frac{L_{RRC}\,\rho^{\mathrm{RRC}}}{L_{RRC}+H_{LTE}}\beta^{ARQ}\beta^{MMC}, \text{ (1)}$$

где $H_{LTE} = H_{PDCP} + H_{AMRLC} + H_{MAC} + H_{CRC} + H_{PHY}$.

Известно [5], что среднее время передачи служебных RRC-сообщений на интерфейсе e-Uu при установке RRC соединения и выработке контекста безопасности в радиоканале, моделируемом СМО M/M/I, включая задержку на выработку контекста безопасности RRC соединений $T_{UERRCSec}$ (время вычисления на UE ключевой информации), дается выражением:

$$T_{RRC} = \frac{1}{\mu_{RRC}(1-\rho^{RRC})} + T_{UERRCSec}\ , \qquad (2)$$

где $\frac{1}{\mu_{RRC}} = \frac{L_{RRC}+H_{LTE}}{V}$,с – среднее время обслуживания сигнального сообщения на подуровне MAC, а V – скорость передачи в радиоканале, содержащем данное виртуальное соединение (бит/с).

Прежде всего, при сделанных выше предположениях рассчитаем коэффициенты загрузки системы сигнальными сообщениями RRC, учитывающие динамику очередей на подуровне MAC: ρ^{RRC}.

Из выражения (2) легко получить выражение для максимальной загрузки радиоканала сигнальными сообщениями RRC:

$$\rho^{RRC} = 1 - \frac{1}{\mu_{RRC}(T_{RRC}-T_{UERRCSec})} = 1 - \frac{L_{RRC}+H_{LTE}}{(T_{RRC}-T_{UERRCSec})V}. \qquad (3)$$

Оптимизацию этого функционала можно вести по переменной $\mathrm{L}^{\mathrm{RRC}}$.

Интенсивность поступления сигнальных сообщений в радиоканал напрямую зависят от интенсивности запросов λ^{LTE} (вызов/час) на установление соединений от пользователя. Поток мультимедийных вызовов λ^{LTE} порождает в сети пропущенную нагрузку величины $\hat{\mathrm{y}}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{LTE}}$ (Эрл) от UE i к базовой станции eNBj:

$$\hat{y}_{ij}^{LTE} = N_i^{UE}\lambda_i^{UE}t^{ses}(1-b^{LTE}), \text{Эрл} \qquad (4)$$

где b^{LTE} – величина допустимых потерь мультимедийного вызова в радиоканале сети LTE; N_i^{UE} – количество UE в соте, создающих суммарную нагрузку в направлении базовой станции eNB j; t^{ses}, с – длительность мультимедийной сессии. Суммарная величина входящего в сеть LTE потока мультимедийных вызовов задается соответствующей матрицей $Y^{LTE} = \|y_{ij}^{LTE}\|$.

Каждый мультимедийный вызов порождает в сети LTE удельную загрузку радиоканала сигнальным RRC трафиком величины

$$\rho^{RRC} = N_i^{UE}\lambda_i^{UE}T_{RRC}(1 - b^{LTE})M^*, \text{ Эрл} \qquad (5)$$

Здесь T_{RRC}, с – время, необходимое для завершения транзакции RRC протокола; M^* – математическое ожидание числа служебных сообщений в транзакции RRC.

При этом, удельная загрузка ρ^{RRC} должна учитываться в общем балансе загрузки $\rho_{ij} = \sum_k \rho_{ij}^k$ радиоканала базовыми информационными потоками k-го класса (GBR, non-GBR) [2]. В этом случае:

$$\rho^{LTE} = \rho^{RRC} + \sum_k \rho^k . \qquad (6)$$

Если $f_{ij}^{RRC(сообщ)}(s)$ – преобразование Лапласа-Стильтьеса плотности распределения сквозного времени задержки T_{RRC} сигнальных сообщений (не пакетов) в сети, то $f_{ij}^{RRC(сообщ)}(s) = [f^{NAS(сообщ)}(s)]^{\left]\frac{L_{RRC}}{L_{RRC}^{pac}}\right[}$, где $\left]\frac{L_{RRC}}{L_{RRC}^{pac}}\right[$ – ближайшее большое целое, отношения длины сообщения L_{RRC} к длине сигнального пакета L_{RRC}^{pac} [1,6].

Коэффициент β^{ARQ} можно вычислить по методике, изложенной в [1], а коэффициент β^{MMC} – с учетом методик, приведенных в [7].

Выражение для расчета максимально эффективной скорости передачи RRC трафика с учетом критерия эффективности (1) имеет вид:

$$V^{RRC} = VK^{RRC} = V\frac{L_{RRC}\,\rho^{RRC}}{L_{RRC}+H_{LTE}}\beta^{ARQ}\beta^{MMC} \qquad (7)$$

Список используемых источников

1. Мошак Н. Н. Теоретические основы проектирования транспортной системы инфокоммуникационной сети: учеб. пособие для вузов (спец. 230201 «Информационные сети и технологии»). СПб.: ИА «Энергомашиностроение», 2006. 159 с.

2. Мошак Н. Н., Птицына Л. К., Давыдова Е. В., Рудинская С. Р. Метод расчета основных числовых характеристик инфотелекоммуникационной транспортной системы

сети LTE // Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов. Выпуск 6 / СПОИСУ. СПб., 2019. С.51-54.

3. Мошак Н. Н. Особенности архитектуры сети LTE. // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы. 2020. С. 320-330.

4. Мошак Н. Н., Кравец А. Ю. Исследование программной структуры архитектуры радиодоступа LTE // Информационная безопасность регионов России. XIII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Материалы конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 360-363.

5. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.

6. Мошак Н. Н. Защищенные инфотелекоммуникации. Анализ и синтез: монография. СПб.: ГУАП, 2014. 197 с.

7. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Perfomance. Cambridge University Press, 2009, 492 с.

CONSTRUCTION OF CRITERION OF EFFICIENCY OF LTE RADIO CHANNEL CAPACITY UTILIZATION BY SIGNAL TRAFFIC. CONSTRUCTION OF SIGNAL TRAFFIC MODEL IN LTE RADIO CHANNEL

Moshak N.[1], Davydova E.[1], Rudinskaya S.[2]
[1] The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications
[2] Belarusian State Academy of Telecommunications

Disclosed is a method of constructing a functional criterion for efficiency of using capacity of a radio channel of a 4G LTE mobile network by signal traffic based on the architecture of the control plane of the radio channel of the network in order to estimate its effect on parameters of basic information streams. A model of signal traffic in the LTE radio channel is being built.

Key words: *LTE, LTE radio access control plane architecture, NAS protocols, RRC, LTE efficiency criterion*

УДК 004.032.26
ГРНТИ 28.23.37

ВОЗМОЖНОСТИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ GPT-4O В ВЫЯВЛЕНИИ ЗАДАННОЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЧИСЕЛ

Т. В. Мусаева, А. А. Боталов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им проф. М.А. Бонч-Бруевича

В данной работе представлены результаты эксперимента, который заключается в оценке нейронной сети GPT-4o справляться с логической игрой на выявление заданной пользователем четырехзначной последовательности цифр. Результаты этой работы позволяют оценить возможности нейронной сети запоминать и использовать в дальнейшем диалоге ответы пользователя, а также строить гипотезы и оптимизировать свою стратегию, ориентируясь на поступление новой информации. Если нейронная сеть не справляется с задачей за 14 попыток, ее выполнение считается проваленным. По результатам 250 игр, нейронная сеть GPT-4o успешно выявила искомую последовательность в 32,8 % случаев, а среднее количество попыток равно 11,2.

нейронные сети, GPT-4o, тест, логическая игра

В настоящее время нейронные сети развиваются крайне быстро, а исследование связанной с ними области знаний стало одним из наиболее актуальным в современной компьютерной науке [1]. Значимость исследований обусловлена, в том числе, возможностями нейронных сетей решать задачи в различных отраслях.

Современные достижения в глубоком обучении находят широкое применение в медицине, промышленности, экономике, робототехнике и других дисциплинах. Прогресс в области генеративных моделей открывает новые возможности в создании контента и интеллектуальных систем взаимодействия человека с нейронными сетями.

Тестирование нейронных сетей является критически важным этапом их разработки и поддержки, оно направлено на оценку корректности, надежности и эффективности моделей. В отличие от традиционного программного обеспечения, где тестирование сводится к проверке логики кода, нейросетевые модели обучаются на данных, и их поведение не всегда детерминировано, что усложняет процесс оценки. Кроме того, тесты часто проводятся и для отслеживания прогресса в той или иной задаче, в выявлении динамики

соответствия возможностей нейронной сети справляться с задачами, относящимся к конкретным параметрам.

Одним из основных направлений тестирования является оценка качества предсказаний. Для этого рассчитываются различные метрики, такие как точность, полнота и средняя ошибка. Анализируется, насколько хорошо модель справляется с задачей и способна ли она обобщать знания на новые данные. Разработчики GPT-4o из компании OpenAI постоянно предоставляют различные тесты и графики для сравнения [2]. Тем не менее в различных задачах на схожие параметры нейронные сети склонны предлагать отличающиеся результаты.

Кроме того, необходимо отметить, что данные, на которых обучается нейронная сеть, а также алгоритмы проверки правильности ответов при обучении являются важнейшими аспектами, влияющими на способность нейронных сетей решать те или иные задачи, поскольку остальной процесс представляет собой для разработчика по сути «черный ящик» [3].

Таким образом, проведение тестирований нейронных сетей в различных, отличающихся задачах, позволит охватить большее количество сценариев взаимодействия нейронной сети с внешним миром и, соответственно, улучшить этот опыт. Важно применять разнообразные тесты, чтобы компенсировать ограничения данных, предвзятость алгоритмов оценки и сложность реальных сценариев. Это позволяет увидеть модель с разных сторон, выявить ее слабые места и понять, насколько ее предсказания устойчивы и полезны в реальном применении.

Данная работа изучает возможности нейронной сети GPT-4o выявлять последовательность чисел, заданной пользователем по правилам логической игры «Быки и коровы». Игра «Быки и коровы» – это логическая игра для двух игроков, в которой один из участников загадывает секретное число, а другой пытается его угадать, основываясь на ответах в виде количества «быков» и «коров». «Бык» – это цифра, которая находится на правильной позиции в загаданном числе. «Корова» – это цифра, которая присутствует в числе, но находится на неправильной позиции. Существуют алгоритмы [4], которые надежно угадывают последовательность из четырех уникальных чисел за 6-7 ходов.

Выделим параметры нейронной сети, которые исследуются при выявлении заданной последовательности чисел:

1) запоминание и использование в дальнейшем ответов пользователя;

2) построение гипотез;

3) оптимизация стратегии на основе полученной информации;

4) поиск или генерация эффективных алгоритмов.

Отметим особенности выделенных параметров. Способность нейронной сети запоминать информацию и применять ее в будущем является ключевым в большинстве задач, на решение которых направлена разработка нейронной сети. Эта способность реализуется через механизмы долговременной памяти, обучения с подкреплением и персонализации на основе данных пользователя [5]. Построение гипотез – способность нейронной сети предлагать новые решения или делать предположения на основе имеющихся данных. Этот процесс включает формирование вероятностных моделей, генерацию альтернативных вариантов ответа, оценку их правдоподобности. Оптимизация стратегии показывает способность нейросети корректировать свое поведение в зависимости от обратной связи и новых данных.

Метод эксперимента: написанная автором программа генерирует псевдослучайную последовательность чисел в соответствии с задачей. Далее в программу загружается предположение нейронной сети, после чего выдается количество «быков» и «коров». Ответ передается нейронной сети, начинается следующий «раунд». Параметры эксперимента следующие:

1) количество проведенных игр;

2) среднее количество ходов, которые потребовались нейронной сети для решения задачи;

3) понятие «успешность»: если нейронная сеть не справляется с задачей за 14 ходов, попытка считается «неуспешной» и игра прекращается.

В рамках эксперимента проведено 250 игровых сессий, в ходе которых анализировалась способность нейронной сети выявлять последовательность чисел, заданную человеком, в логической игре «Быки и коровы». В 82 из 250 игр (32,8 %) нейронная сеть GPT-4o справилась с решением задачи менее, чем за 15 ходов.

Среднее количество ходов, затраченных на успешное решение задачи составило **11,2 хода**. Однако, несмотря на отдельные успешные попытки, в большинстве случаев нейронная сеть демонстрировала низкую эффективность, что указывает на сложность данной задачи для GPT-4o.

Результаты исследования показывают, что логическая игра «Быки и коровы» может выступать в роли тестовой среды для оценки и сравнения различных нейросетевых моделей. Данная игра требует от алгоритма способности к анализу, дедукции и адаптации стратегии, что делает ее полезным

инструментом для выявления сильных и слабых сторон интеллектуальных систем.

Кроме того, использование логической игры «Быки и коровы» в качестве теста позволяет отслеживать прогресс в развитии нейросетевых архитектур, выявлять закономерности в процессе обучения и проводить сравнительный анализ различных моделей. Дальнейшие исследования могут содержать сравнительный анализ возможностей нейронных сетей эффективно справляться с данной логической игрой.

Список используемых источников

1. Рыбаков Д. А. Актуальность и доступность нейросетей в современном обществе // Вестник науки. 2023. № 7 (64). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnost-i-dostupnost-neyrosetey-v-sovremennom-obschestve (дата обращения 10.03.2025).

2. GPT-4o vs. GPT-4: How do they compare? URL: https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/feature/GPT-4o-vs-GPT-4-How-do-they-compare (дата обращения 01.03.2025).

3. Как обучить нейросеть? URL: https://blog.ycla.ai/obuchenie-nejronnyh-setej (дата обращения 01.03.2025).

4. Поздняков С. Н. Информационный анализ игры «Быки и коровы» // КИО. 2007. № 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnyy-analiz-igry-byki-i-korovy (дата обращения 01.03.2025).

5. Sepp Hochreiter, Jurgen Schmidhuber Long short-term memory // Neural Computation. № 9 (8). 1997. С.: 1735-1780.

CAPABILITIES OF THE GPT-4O NEURAL NETWORK IN IDENTIFYING USER-SPECIFIED NUMBER SEQUENCES

Musaeva T., Botalov A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper presents the results of an experiment aimed at evaluating the performance of the GPT-4o neural network in a logical game designed to identify a user-specified four-digit number sequence. The findings of this study provide insights into the neural network's ability to memorize and utilize user responses in subsequent interactions, as well as its capacity to generate hypotheses and optimize its strategy based on new information. If the neural network fails to solve the task within 14 attempts, its performance is considered a failure. Based on the results of 250 games, the GPT-4o neural network successfully identified the target sequence in 32.8 % of cases, with an average of 11.2 attempts.

Key words: *neural networks, GPT-4o, test, logical game*

УДК 004.032.26
ГРНТИ 28.23.37

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТИ GPT-4O ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАТЕРИАЛОВ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ОБУЧЕНИЕ ПРОГРАММИРОВАНИЮ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Т. В. Мусаева, А. А. Боталов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им проф. М.А. Бонч-Бруевича

Данная работа изучает возможности и ограничения применения нейронной сети GPT-4o в создании учебных материалов для обучения программированию студентов высших учебных заведений. К таким материалам, в рамках работы, относятся: лекции, тесты, задачи. Исследование проведено в рамках курса программирования на языке Python, однако описанные методы распространяются на любой язык, поддерживающий возможность применения парадигмы объектно-ориентированного программирования. Исследование показало, что использование GPT-4o значительно сократило время создания материалов (в 1,5-3 раза, в зависимости от типа), а субъективная оценка студентами степени доступности материала не изменилась.

нейронные сети, GPT-4o, обучение, программирование, преподавание

Современные нейронные сети являются основным направлением развития искусственного интеллекта и находят применение в различных сферах [1]. Благодаря значительному прогрессу в области глубокого обучения и увеличению вычислительных мощностей, нейросетевые модели демонстрируют высокую эффективность в решении разнообразных задач, включая обработку естественного языка, компьютерное зрение, программирование и автоматизацию сложных вычислительных процессов.

Одной из изучаемых в данный момент областей применения нейронных сетей является образование [2]. Внутри данные исследования можно поделить на пять крупных направлений:

1) персонализация обучения и адаптивные образовательные системы;
2) интеллектуальные системы оценки знаний;
3) анализ образовательных данных и аналитика;
4) автоматизация административных процессов в образовании.
5) автоматизированная генерация образовательных материалов;

В исследованиях, относящихся к персонализации и адаптации образования рассматривают возможности нейросетевых алгоритмов анализиро-

вать уровень подготовки обучающихся, их успеваемость и стиль восприятия информации, формируя персонализированные учебные траектории. Исследования в области интеллектуальных систем оценки знаний изучают возможности нейронных сетей автоматизировать проверку качества обучения студентов и логику рассуждений последних. Нейронные сети часто [3] используются в анализе больших массивов информации, а современные образовательные платформы и учебные заведения имеют подходящие данные, анализ которые может быть использован нейронными сетями для выявления закономерностей в успеваемости студентов, прогнозирования возможных трудностей и предложений корректирующих мер. Наконец, нейронные сети способны генерировать учебные пособия, тесты, лекции и другие материалы. Именно в данной области проведено это исследование.

Цель работы – разработка методики создания материалов для обучения программированию студентов профильных направлений высших учебных заведений с использованием технологии GPT-4o.

Задачи:

1) определить область создаваемых учебных материалов;

2) предложить методику создания учебных материалов;

3) проверить методику на практике;

4) оценить полученные результаты.

В рамках данного исследования рассматривается возможность использования нейросети GPT-4o для генерации, дополнения и редакции различных типов учебных материалов, которые широко используются в процессе обучения программированию:

1) лекции;

2) тесты;

3) практические задачи (лабораторные работы).

Лекции, тесты и практические задачи были выбраны как наиболее распространенные и важные виды учебных материалов, используемых в сфере обучения программированию, поскольку они обеспечивают комплексный подход к обучению. Лекции дают базовые знания, тесты помогают проверять усвоение материала и дают обратную связь, а лабораторные работы позволяют развивать практические навыки и углублять понимание теории. Исследование распространяется на обучение студентов дисциплине программирования на языке Python.

Рассмотрим используемую методику для генерации каждого типа учебного материала. Приведем оцениваемые параметры: входные и выходные данные, виды возникающих ошибок, средний объем правок.

Для лекции в качестве входных данных используются: тема лекции, ожидаемая область знаний. Выходные, то есть получаемые от нейронной сети данные: термины и их определения, сравнительный анализ, свойства и параметры затрагиваемых терминов. Виды возможных ошибок: не исчерпывающий объем обозреваемых терминов, ошибки в фактах. Средний объем правок ошибок: 14 % от получаемых выходных данных.

Входные данные для формирования тестов: тема теста и его формат. Выходные данные: упорядоченные вопросы теста и варианты ответов на них, а также правильные ответы. Виды возникающих ошибок: несоответствие вопросов теме теста, вопросы без однозначного ответа. Средний объем правок: 31 % от получаемых выходных данных.

Запрос для формирования практической задачи представляет корректный пример уже имеющийся задачи и просьбы сделать похожую. Выходные данные: типовые задачи с разными параметрами. Виды возникающих ошибок: отсутствие решения у задач, некорректные условия задач. Средний объем правок: 62 % от получаемых выходных данных.

Теперь оценим разницу во времени, затраченном на формирование каждой задачи с использованием предложенной методики и без нее. Без использования нейронной сети основное время подготовки лекции занимает поиск и структуризация материала, а также фактологическая проверка используемой в лекции информации. С помощью нейронной сети GPT-4o можно сократить поиск и структуризацию до нескольких десятков минут, увеличив время на проверку фактов, представленных в тексте. Проверка фактов, в свою очередь, занимает меньший [4] объем времени по сравнению с поиском научной информации и ее структуризацией.

То же самое касается и создания тестов – после его формулировки за минуты нейронной сетью, останется лишь перепроверить все вопросы и ответы, не затрачивая временные ресурсы на формирование (или поиск) вопросов.

Наконец, в случае генерации задач (лабораторных работ) разница во временных затратах кажется не такой значительной – в первую очередь, из-за большого объема необходимости правок в выходных данных.

Таким образом, использование нейронной сети GPT-4o для обучения студентов дисциплины программирования на языке Python показало ее вы-

сокую эффективность в виде помощника в подготовке лекций и тестов, а также незначительную эффективность в подготовки задач.

Дальнейшие исследования могут включать: эксперименты в других дисциплинах; разработку приложения для генерации и проверки обучающего контента.

Список используемых источников

1. Хачатурян А. А., Пономарева С. В. Нейронные сети, как ключевое и перспективное направление развития и применения искусственного интеллекта в деятельности промышленных предприятий // Вестник Государственного университета просвещения. Серия: Экономика. 2023. № 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/neyronnye-seti-kak-klyuchevoe-i-perspektivnoe-napravlenie-razvitiya-i-primeneniya-iskusstvennogo-intellekta-v-deyatelnosti (дата обращения 12.01.2025).

2. Шамсутдинова Т. М. Проблемы и перспективы применения нейронных сетей в сфере образования // Открытое образование. 2022. № 26(6). С. 4-10. URL: https://doi.org/10.21686/1818-4243-2022-6-4-10 (дата обращения 12.01.2025).

3. Аршинский В. Л., Провоторов В. А. Применение искусственных нейронных сетей и машинного обучения для прогнозирования успеваемости студентов высших учебных заведений // Вестник МГПУ. Серия: Информатика и информатизация образования. 2024. № 4 (70). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-iskusstvennyh-neyronnyh-setey-i-mashinnogo-obucheniya-dlya-prognozirovaniya-uspevaemosti-studentov-vysshih-uchebnyh (дата обращения 01.03.2025).

4. Изменят ли нейросети систему образования? URL: https://www.lanit.ru/press/smi/izmenyat-li-neyroseti-sistemu-obrazovaniya/ (дата обращения 01.03.2025).

USING GPT-4O NEURAL NETWORK FOR CREATING EDUCATIONAL MATERIALS FOR TEACHING PROGRAMMING TO UNIVERSITY STUDENTS

Musaeva T., Botalov A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper examines the possibilities and limitations of applying the GPT-4o neural network to create educational materials for teaching programming to university students. The materials covered in the study include lectures, tests, and tasks. The research was conducted within the framework of a Python programming course; however, the methods described are applicable to any programming language supporting object-oriented programming paradigms. The study found that the use of GPT-4o significantly reduced the time required to create materials (by 1.5 to 3 times, depending on the type), while the students' subjective assessment of the accessibility of the materials remained unchanged.

Key words: *neural networks, GPT-4o, education, programming, teaching*

УДК 004.032.26
ГРНТИ 28.23.37

МЕТОДЫ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИССЛЕДОВАНИЯХ РАЗРАБОТКИ ВИДЕОИГР

Т. В. Мусаева, А. А. Боталов

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им проф. М.А. Бонч-Бруевича

В данной работе представлен анализ предметной области использования нейронных сетей для создания различных аспектов видеоигр. Выявлены вызовы и особенности, сопровождающие данную область: новизна технологий, конкуренция среди разработчиков, предпочтения игроков. Кроме того, в работе приведен обзор ряда научных материалов, касающихся данной тематики и представлен авторский комментарий относительно этих исследований: количество статей не соответствует практической актуальности проблемы, а их глубина, в большинстве случаев, не соотносится с реальными нуждами практикующих специалистов.

нейронные сети, видеоигры, методы, исследования

Нейросетевые технологии в данный момент развиваются с высокой скоростью [1], а исследования применения нейросетей в разработке видеоигр еще несколько лет назад если и предлагали какие-то новые методики, то преимущественно в точных аспектах разработки, никак не касаясь творческой ее части. Ситуация начинает меняться с появлением (и последующим повсеместным применением) нейросетей, способных удобно и относительно быстро решать конкретные задачи: сгенерировать изображение, написать композицию или предложить сценарий. Среди самых популярных нейросетей на данный момент можно выделить Midjourney, ChatGPT, Gemini, DALLE [2].

В то же время, разработка видеоигр постоянно связана с применением новейших технологий [3], способных упростить, ускорить или удешевить разработку. Это, в свою очередь, приводит к ситуации, в которой ученые могут не поспевать за разработчиками, вводящими новейшие, малоизученные нейросетевые инструменты для создания своих игр.

Например, мы можем найти статью [4], в которой разработчик игр делится библиотекой ИИ-инструментов, которые он использует при разработке игр. Данная статья показывает, на какие процессы может распространиться влияние нейросетей в разработке видеоигр и предлагает взгляд на структурирование этих процессов. Тем не менее статья представляет лишь

субъективный взгляд автора и показывает только примеры генерации, не углубляясь во влияние данного инструментария и технологий на итоговый результат.

Если же перейти к научным работам, то комплексного и объемного исследования, которое бы представило несколько методов и проанализировало их влияние на итоговое качество продукта, найти не удалось.

Некоторые исследования [5] поверхностно обозревают применение всего двух нейросетей в небольшом спектре генеративных задач, при этом делая выводы о замене специалистов нейросетями несостоятельным: «В заключении можно сказать, что чат боты, основанные на нейросетях, пока неспособны в полной мере заменить авторов и сценаристов. Они зачастую генерируют шаблонные и стандартные идеи. Также стоит отметить, что очень важен отправляемый запрос. Нужно четко прописывать результат, необходимый в конце работы нейросети. При этом нейронные сети, генерирующие картинки, показывают лучший результат и могут стать отличным инструментом для разработки концепт-артов». Выводы автора проецируются на все существующие нейросети, хотя в рамках работы была рассмотрена лишь одна, генерирующая текст, и одна, генерирующая изображения. Кроме того, на наш взгляд, стоит рассматривать такой инструментарий как дополнение и упрощение работы специалистам, а не их полноценную замену.

Тем не менее, можно отметить и более качественное исследование [6], в котором автор исследует способы сокращения потребления ресурсов при разработке игр посредством нейросетей-художников. Кроме показа процесса формирования иконки приложения, автор привел результаты A/B-тестирования, в котором иконка, сформированная нейросетью, продемонстрировала результаты лучше, чем две другие, нарисованные дизайнерами. Работу автор сопроводил позитивным выводом об использовании нейросетей в этой области, и с ним сложно не согласится: действительно, в рамках данного исследования, применение генеративной нейросети для создания иконки приложения положительно повлияло на качество контента с точки зрения пользователей приложения.

В другой работе [7] авторы представили пример генерации персонажа и фона для игры в жанре “визуальная новелла” с помощью нейросети Dream by WOMBO. Однако в рамках работы никакой оценки итогового результата или влияния на качество итогового продукта, не наблюдается.

Существует работа, в которой представлены примеры некоторых видеоигр, в которых уже используются нейросети [8]. В ней, к тому же, объясняется принцип процедурной генерации – части ИИ, давно используемой в видеоиграх и в генеративных нейросетевых моделях. Более того, автор от-

мечает потенциальное преимущество использования таких моделей при разработке видеоигр, однако не показывает конкретный пример генерации и его последующей оценки.

Интерес представляет исследование [9] в котором авторы сформулировали основания для разработки инструмента, который может генерировать сценарный прототип из текстовых документов. Тем не менее, никаких данных о создании такого инструмента, а тем более об его влиянии на качество итогового продукта, нет.

Стоит отметить еще одно исследование [10]. В нем автор привел и проанализировал применение искусственного интеллекта (в двух случаях нейросетей) в четырех аспектах разработки видеоигр: генерация уровней, дизайн персонажей, игровая логика, поиск путей. В данной работе описаны лишь фундаментальные особенности применения, без конкретных примеров и их оценок.

Что касается предметной области, видеоигры являются продуктом, который создается с использованием компьютерных технологий и предназначен для развлечения и отдыха. Индустрия видеоигр включает в себя разработку, издание и продажу видеоигр, а также различные услуги, связанные с этими процессами.

Существует несколько ключевых факторов, которые влияют на развитие индустрии видеоигр. Один из таких факторов – это технологический прогресс. С развитием технологий, разработчики видеоигр получают новые возможности для создания более уникальных продуктов.

Также следует отметить, что индустрия видеоигр постоянно связана с конкуренцией внутри нее. Существует множество компаний, которые занимаются разработкой и изданием видеоигр, и каждая из них стремится создать продукт, который будет популярен среди игроков. В связи с этим, разработчики видеоигр постоянно совершенствуют свои продукты и следят за тенденциями в индустрии.

Внедрение нейросетевых технологий в индустрию разработки видеоигр позволит улучшить различные аспекты игрового процесса, такие как: визуальная графика, искусственный интеллект, непосредственно игровой контент.

Однако, несмотря на потенциальные преимущества, интеграция нейросетевых технологий в разработку видеоигр также сталкивается с вызовами: нейросети имеют повышенные требования к вычислительным ресурсам, а также сопровождаются сложностями в обучении для конкретных локальных задач. Кроме того, важно учитывать этические проблемы, связанные с использованием искусственного интеллекта в игровой индустрии.

В настоящее время, индустрия видеоигр становится все более конкурентной, и разработчики игр ищут новые способы улучшения качества своих продуктов. Одним из таких способов является использование нейросетевых технологий. Исследование методов нейросетевых технологий в индустрии разработки видеоигр представляет собой перспективное направление, способное значительно изменить и улучшить процессы создания и игровой опыт.

Обширный анализ научных статей и литературы по предметной области выявил недостаток углубленных исследований. Многие существующие работы касаются лишь отдельных аспектов разработки с использованием нейросетей, не предоставляя комплексного понимания того, как эти технологии могут быть интегрированы в различные этапы создания видеоигр.

Отсутствие глубокого анализа открывает возможности для проведения более детальных исследований в этой области. Расширение научных исследований может включать в себя анализ эффективности различных архитектур нейронных сетей, оптимизацию игровых механик, а также рассмотрение влияния использования нейросетевых технологий на итоговый результат.

Для полного понимания потенциала нейросетей в индустрии разработки видеоигр рекомендуется провести исследования, охватывающие следующие направления: анализ влияния различных архитектур на качество графики и игрового процесса, создание универсальных методов оптимизации, исследование влияния нейросетевой генерации контента на восприятие игроков, и анализ этических аспектов использования искусственного интеллекта в игровой индустрии.

Важно учесть, что внедрение нейросетевых технологий может потребовать значительных вычислительных ресурсов, что может представлять технические и экономические вызовы. Кроме того, необходимо уделять внимание вопросам прозрачности алгоритмов и их влиянию на итоговый продукт.

Такие выводы могут послужить отправной точкой для дальнейших исследований и обоснования необходимости углубленного изучения методов нейросетевых технологий в индустрии разработки видеоигр.

Список используемых источников

1. Полянский А. В., Смыкова Н. Н., Никонорова Л. И. Нейросети сегодня и перспективы развития // Наука и Образование. 2023. Т. 6. № 2.

2. ТОП-100 лучших нейросетей 2025 года в 10 самых востребованных категориях URL: https://craftum.com/blog/nejroseti-top-ai/ (дата обращения 12.01.2025).

3. Шелл Дж. Геймдизайн: как создать игру, в которую будут играть все: пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2020. 640 с.

4. Как используя силу 30 нейронных сетей, создать игру? URL: https://dtf.ru/gamedev/1675235-kak-ispolzuya-silu-30-nejronnyh-setej-sozdat-igru (дата обращения 12.01.2025).

5. Мельников Д. С. Анализ возможности разработки игровых приложений с помощью нейросетей // Вестник науки. 2023. Т. 4, № 8 (65). С. 286-292.

6. Кочурова Л. К. Использование нейросетей при разработке видеоигр // Молодой ученый. 2023. № 25 (472). С. 26-30. URL: https://moluch.ru/archive/472/104438/ (дата обращения 12.01.2025).

7. Новак Я. Д., Белозерова С. И. Создание компьютерных игр с использованием графических нейросетей // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2023. Т. 2. С. 463-467.

8. Демин В. Р. Исследование методов генерации контента для игровых проектов // Технические и технологические основы инновационного развития: сборник статей Международной научно-практической конференции, Уфа, 15 января 2021 года. Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2021. С. 9–12.

9. Сахибгареева Г. Ф., Бедрин О. А., Кугуракова В. В. Разработка компонента генерации визуализации сценарного прототипа видеоигр // Научный сервис в сети Интернет: труды XXII Всероссийской научной конференции (21-25 сентября 2020 г., онлайн). М.: ИПМ им. М. В. Келдыша, 2020. С. 581-603.

10. Загиров А. А. Искусственный интеллект в разработке видеоигр // Вопросы обеспечения безопасности в киберпространстве: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Махачкала, 16 декабря 2022 года. Махачкала: Дагестанский государственный технический университет, 2022. С. 117–121.

NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN VIDEO GAME DEVELOPMENT RESEARCH

Musaeva T., Botalov A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This paper presents an analysis of the field of neural network usage for various aspects of video game development. The challenges and peculiarities associated with this area are identified, including the novelty of the technologies, competition among developers, and player preferences. Additionally, the paper provides an overview of several scientific materials related to this topic, along with the author's commentary on these studies: the number of articles does not correspond to the practical relevance of the issue, and their depth, in most cases, does not align with the real needs of practicing professionals.

Key words: *neural networks, video games, methods, scientific materials*

УДК 378.1, 004.65
ГРНТИ 14.35.09, 50.41.21

ПРИМЕРЫ ВНЕДРЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И РЕСУРСОВ АКАДЕМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ КОМПАНИЙ В ОБУЧЕНИЕ ИТ-ДИСЦИПЛИНАМ

С. А. Нестеров

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

В статье описывается ряд примеров внедрения материалов академических программ отечественных и зарубежных компаний в образовательный процесс высшей школы Компьютерных технологий и информационных систем Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Широко использовавшиеся ранее академические проекты западных вендоров (такие как Oracle Academy) в настоящее время перестали быть доступными в России. В то же время, подобные учебные материалы в части общих тем (таких как проектирование баз данных или стандартные конструкции языка SQL) все еще можно применять, постепенно заменяя их аналогичными от отечественных разработчиков. Например, в области баз данных это могут быть материалы компаний «Постгрес Профессиональный» или «Ред Софт»; в области сетевых технологий – портал дистанционного обучения D-Link, созданный российским представительством этого производителя.

Рассматриваемые в статье академические программы используются автором при обучении студентов направлений подготовки «Информационные системы и технологии» и «Системный анализ и управление».

базы данных, программирование, информационная безопасность, онлайн-курсы, академические программы

В силу большой изменчивости в предметной области, учебные дисциплины, связанные с информационными технологиями, требуют регулярного пересмотра и обновления учебных материалов. Задача это достаточно трудоемкая и преподаватель самостоятельно не всегда может ее оперативно решить. В тоже время, если использовать готовые учебные материалы, которые регулярно обновляются авторами, и адаптировать их под особенности своей учебной дисциплины, все становится существенно проще.

Одним из источников подобных материалов являются академические программы вендоров и крупных ИТ-компаний. Многие университеты участвуют в подобных программах. Особенностью последних лет стал уход из России ряда крупных западных компаний и сворачивание ими своих акаде-

мических программ. Из наиболее известных можно назвать Oracle Academy и Сетевую академию Cisco.

Материалы академической программы Oracle Academy [1] в нашем подразделении СПбПУ стали активно использоваться с 2016 года, когда по решению руководства университета преподавание ряда профессиональных дисциплин стало проводиться на английском языке. Для наших направлений подготовки, а это 09.03.02 – «Информационные системы и технологии» и 27.03.03 – «Системный анализ и управление», одной из таких дисциплин стали «Базы данных». Выбор между переводом использовавшегося до этого момента учебника [2] и переходом на преподавание по изначально англоязычным материалам, был сделан в пользу последнего подхода. В качестве базового, был выбран курс Database Foundations из академической программы Oracle Academy, который существует и в англоязычной, и в русскоязычной версиях. Отдельные темы также брались из курса Database Programming with SQL той же программы. Параллельно студенты на портале openedu.ru изучали онлайн-курс аналогичной тематики на русском языке [3].

Программа Oracle Academy предполагала, что каждый зарегистрированный в ней преподаватель мог самостоятельно заводить учетные записи для своих студентов на учебном портале Member Hub, после чего добавлять студентам курсы для изучения. Альтернативный формат – университет мог размещать предоставляемые учебные материалы в своей системе дистанционного обучения. В нашем подразделении использовались оба варианта.

Кроме учебных материалов и тестов, в рамках программы давался доступ к загрузкам предоставляемого программного обеспечения и учетные записи для доступа к облачным ресурсам, таким как Oracle Application Express (APEX), что позволяло студентам работать со своими учебными базами как из дома, так и в классе.

К сожалению, в марте 2022 года программа в России перестала быть доступной, при этом были заблокированы учетные записи преподавателей и студентов на портале Member Hub. В то же время, так как материалы курсов (презентации, описания лабораторных, код используемых примеров) заранее были продублированы в системе дистанционного обучения СПбПУ, они остались доступны, и курс можно было продолжать читать. Некоторые из этих материалов используются и сейчас. Хотя корпорация Oracle заблокировала загрузки программного обеспечения с российских ip-адресов, некоторые облачные ресурсы все еще остались доступны. В частности, можно

создавать себе пространство APEX на сайте https://apex.oracle.com/ и использовать его, в том числе в учебных целях.

Другой пример – с сентября 2018 г. при преподавании курсов по базам данных в качестве дополнительного материала авторами использовались курсы международного портала www.datacamp.com [4]. На портале размещено несколько сотен курсов, посвященных анализу данных, машинному обучению, языку SQL. Курсы на английском языке, но видео сопровождается субтитрами на разных языках, в том числе можно выбрать русский. Особенностью курсов является большой объем практических занятий на тренажерах с автоматической проверкой отправляемого результата, который, в большинстве случаев, представляет собой фрагменты кода или запросы. Успешное прохождение курса подтверждается сертификатом. Из тематически связанных курсов составляются треки, изучение которых по трудоемкости примерно соответствует изучению семестрового университетского курса.

Портал DataCamp работает по платной подписке, но преподавателям университетов предоставляется возможность подать заявку на получение «класса» на портале для проведения учебного курса по связанной тематике. Класс дается на полгода на указанное в заявке число слушателей. Преподаватель может формировать ссылки для зачисления в класс, связанные с университетским доменом почтового адреса слушателя, на который зарегистрирована учетная запись. Зарегистрированные таким образом студенты получают бесплатный доступ ко всем курсам портала. Преподаватель может объединять студентов в группы и давать группе задания в виде изучения определенного курса или раздела к указанному сроку, а после получать отчеты о выполнении этих заданий. Нашим студентам в рамках дисциплины «Базы данных» для изучения предлагался трек SQL Server Developer, состоящий из 10 курсов, посвященных разработке баз данных.

Кроме обычных курсов, на DataCamp есть еще курсы в формате проекта, посвященные решению определенной задачи. В рамках подготовки к выпускным квалификационным работам студенты часто использовали курсы и проекты по анализу данных и машинному обучению.

Запросы на предоставление классов служба поддержки DataCamp согласовывала до последнего времени, но с весны 2024 года доступ к порталу с российских ip-адресов стал ограничиваться. Поэтому после окончания срока действия очередного класса осенью 2024 года, новая заявка не пода-

валась, и, по всей видимости, какое-то время академической программой этого портала пользоваться не будут.

В настоящее время в наши курсы по базам данных добавлены разделы, знакомящие студентов с СУБД PostgreSQL, учебные материалы для которых разрабатывались с использованием книг и учебных пособий, размещаемых компанией «Постгрес Профессиональный» (Postgres Professional) на своем сайте [5]. Кроме того, СПбПУ стал одним из университетов, которым компания Postgres Professional предоставила доступ своему облачному сервису DataBase as a Service. В частности, для студентов 4 курса, изучающих дисциплину «Корпоративные системы баз данных», созданы учетные записи, позволяющие каждому студенту получить доступ к учебной базе данных «Авиаперевозки» (она студентам доступна только для запросов на выборку данных), а также создавать свои объекты в отдельной схеме базы данных, доступной для записи. В качестве клиентского ПО большинством студентов используется среда разработки баз данных DBeaver. Таким образом, студенты получают возможность работать с одними и теми же базами данных из привычного интерфейса и в классе вовремя занятий, и дома, самостоятельно выполняя задания.

Другой формат взаимодействия был предложен компанией Datagile, разрабатывающей по заказу Газинформсервис СУБД Jatoba [6], также основанную на исходном коде PostgreSQL. В данном случае, акцент был сделан на выпускные квалификационные работы. Темы предлагались компанией, и ее специалисты курировали выполнение студентами работ. Летом 2024 г. в таком формате были выполнены две выпускные работы бакалавров, одна из которых была посвящена исследованию влияния параметров журнала предзаписи на производительность СУБД PostgreSQL [7], вторая – методам аутентификации пользователей в этой СУБД.

Компания «Ред Софт» в рамках своей академической программы [8] предоставляет университетам лицензии на такие свои продукты как операционная система Ред ОС (отечественный дистрибутив Linux) и СУБД Ред База данных (основана на СУБД с открытым исходных кодом Firebird). В нашей высшей школе данные продукты используются в курсах по базам данных и информационной безопасности. Также специалистами «Ред Софт» проводится обучение преподавателей университетов на курсах по администрированию Ред ОС и Ред БД. Материалы данных курсов позволяют быстрее внедрить в учебный процесс изучение продуктов компании.

Отдельно стоит упомянуть студенческие олимпиады по информационным технологиям. Направления, связанные с администрированием Ред ОС, есть на олимпиадах «Траектория будущего» и «ИТ-планета». И участие университета в академической программе вендора позволяет студентам лучше подготовиться к этим мероприятиям.

Еще один «внешний» ресурс, который используется в нашей высшей школе – портал дистанционного обучения российского подразделения компании D-Link [9]. Там размещены курсы по широкому спектру сетевых технологий и разработке встраиваемого программного обеспечения для систем с операционной системой Linux. В нашем учебном процессе задействованы курсы «Использование Linux при программировании» (для бакалавров в рамках дисциплины «Системный подход в разработке программного обеспечения»), а также «Основы сетевых технологий. Часть 3: Технологии TCP/IP», «Основы сетевой безопасности. Часть 1: Межсетевые экраны» и «Основы сетевой безопасности. Часть 2: Технологии туннелирования» (для магистров, в рамках дисциплины «Информационная безопасность и защита информации»). Студентам предлагается изучение этих курсов в качестве дополнительного материала, а успешное их освоение учитывается при определении оценки за экзамен в виде дополнительных баллов, добавляемых к результату экзаменационного теста студента.

В настоящее время запись студентов на курсы портала D-Link производится по заявке от образовательной организации, преподаватель при этом получает возможность отлеживать результаты студентов на курсе. Курс «Использование Linux при программировании» предполагает дистанционный итоговый экзамен. По остальным курсам портала по заявке от университета возможна организация итогового тестирования в классе. При успешном прохождении курса и сдаче экзамена выдается сертификат D-Link.

Подводя итог, хочется отметить, что использование ресурсов академических программ позволяет преподавателю актуализировать учебные материалы, а студентам – получить новые знания, которые, кроме прочего, могут помочь при участии в студенческих олимпиадах, прохождении профессиональной сертификации, поиске места для стажировки и трудоустройства по специальности. В силу политических причин в нашей стране стал недоступен ряд крупных международных академических программ западных производителей программного обеспечения, но это отчасти уже компенсировано программами отечественных разработчиков.

Список используемых источников

1. Oracle Academy. URL: https://academy.oracle.com/ru/ (дата обращения 16.02.2025).

2. Нестеров С. А. Базы данных: учебник и практикум для вузов / С. А. Нестеров. – 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2024. 258 с. ISBN 978-5-534-18107-4.

3. Открытое образование. Управление данными: онлайн-курс / С. А. Нестеров, Н. В. Андреева. URL: https://openedu.ru/course/spbstu/DATAM/ (дата обращения 16.02.2025).

4. Learn Data Science and AI Online | DataCamp. URL: https://www.datacamp.com/ (дата обращения 16.02.2025).

5. Postgres PRO. Программа сотрудничества с образовательными организациями. URL: https://postgrespro.ru/education/university (дата обращения 16.02.2025).

6. Jatoba – отечественная система управления базами данных (СУБД) URL: https://jatoba.ru/ (дата обращения 16.02.2025).

7. Косенкова А. А. Исследование влияния размера сегмента журнала предзаписи на производительность базы данных в СУБД PostgreSQL / А. А. Косенкова, С. А. Нестеров // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2024. С. 406-410.

8. Ред Софт. Образовательным учреждениям. URL: https://redos.red-soft.ru/learn/for-schools/ (дата обращения 16.02.2025).

9. Портал дистанционного обучения D-Link. URL: https://learn.dlink.ru/ (дата обращения 16.02.2025).

EXAMPLES OF IMPLEMENTATION OF MATERIALS AND RESOURCES OF ACADEMIC PROGRAMS OF COMPANIES IN IT DISCIPLINES

Nesterov S.
Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University

The paper describes a number of examples of the implementation of academic program materials of domestic and foreign companies in the educational process of the Higher School of Computer Technologies and Information Systems of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Previously widely used academic projects of international vendors (such as Oracle Academy) are currently no longer available in Russia. At the same time, these educational materials in terms of general topics (such as database design or SQL language) can still be used, gradually replacing them with similar ones from domestic developers. For example, in the field of databases, these can be materials from Postgres Professional or Red Soft; in the field of network technologies, the D-Link distance learning portal created by the Russian representative office of this manufacturer.
The academic programs discussed in the article are used by the author when teaching students in the areas of training "Information Systems and Technologies" and "System Analysis and Control".

Key words: *databases, programming, information security, online courses, academic programs*

УДК 356.004.6
ГРНТИ 78.21.12

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПО ДЛЯ VR И ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ VR

Ю. Н. Островский, Л. В. Акопян, В. А. Гутаров, Д. И. Сметанин

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В последние годы технологии виртуальной реальности стремительно развиваются, открывая новые горизонты для бизнеса, образования, медицины и развлечений. В то время как зарубежные компании, такие как Oculus, HTC и Sony, уже зарекомендовали себя на мировом рынке, отечественные разработчики также активно внедряют инновации и создают уникальные решения, адаптированные к российским реалиям. В данной статье, проводится сравнительный анализ отечественного и зарубежного программного обеспечения и технологий виртуальной реальности, рассматриваются их сильные и слабые стороны, а также обсуждаются перспективы развития VR в России и за ее пределами.

виртуальная реальность, импортозамещение, законодательство

Виртуальная реальность – перспективная технология, которая активно внедряется в различные сферы: от игровой индустрии и образования до медицины и промышленности. За последние годы VR-технологии совершили огромный скачок в развитии, предлагая пользователям все более реалистичные и захватывающие предложения. Однако на фоне глобальных технологических трендов и политических изменений, таких как санкции и курс на импортозамещение, особое внимание уделяется развитию отечественного программного обеспечения и аппаратных решений в области VR.

Российский рынок VR-технологий демонстрирует активный рост, поддерживаемый как частными компаниями, так и государственными программами. При этом зарубежные решения, такие как Oculus, HTC Vive и платформы Unity и Unreal Engine, остаются лидерами в области инноваций и экосистемы разработки [1].

Отечественный рынок VR-устройств представлен такими решениями, как шлемы от компании Fibrum и локализованные версии устройств, например, Pico Neo. Эти устройства ориентированы на массового потребителя и образовательные проекты. Они часто отличаются доступной ценой и адап-

тацией под локальные требования, но могут уступать зарубежным аналогам в качестве графики, а также точности трекинга.

Зарубежные лидеры рынка, такие как Oculus Quest, HTC Vive и Valve Index, предлагают устройства с высоким разрешением дисплеев, продвинутыми системами трекинга и широкими возможностями интеграции с другими технологиями. Эти устройства задают стандарты качества, но их стоимость и доступность в России могут быть ограничены [2, 3].

Российские разработчики предлагают современные решения, как Varwin (платформа для создания VR-проектов), Rocket (инструмент для разработки VR/AR-приложений) и Unigine (движок для симуляций и визуализации) [2, 4]. Эти платформы часто ориентированы на корпоративный и образовательный сектор, предлагая локализованные решения и соответствие требованиям российского законодательства. Однако их экосистема может быть менее развитой, а функциональность ограниченной по сравнению с зарубежными аналогами.

Unity и Unreal Engine, предоставляют мощные инструменты для создания VR-приложений с поддержкой передовых технологий (например, фотореалистичная графика, физика, искусственный интеллект). Эти платформы имеют огромное сообщество разработчиков, обширные библиотеки ассетов и регулярные обновления. Однако их использование в России может быть осложнено ограничениями на доступ к обновлениям и поддержке из-за санкций [3].

ТАБЛИЦА 1. Сравнение отечественных технологий VR с зарубежными

Критерий	Российские VR-технологии	Зарубежные VR-технологии
Уровень развития	Средний, отставание в массовом сегменте, но есть прорывные решения в B2B и военной сфере	Высокий, лидеры (Meta, HTC, Valve, Pico) доминируют на рынке
Оборудование	Ограниченное производство (напр., Deeptrack, VR Concept), часто используются зарубежные комплектующие	Широкий ассортимент (Oculus Quest, HTC Vive, Valve Index, Pico 4)
Программное обеспечение	Развиваются собственные движки (Unigine), но большинство разработчиков используют Unity/Unreal	Доминирование западных платформ (Meta Horizon, SteamVR) и игровых движков

Критерий	Российские VR-технологии	Зарубежные VR-технологии
Применение в промышленности	Сильные позиции (тренажеры для авиации, нефтегаза, медицины – VR Concept)	Активно используется (Varjo, Siemens VR, NVIDIA Omniverse)
Военные технологии	Опытные образцы (тренажеры для армии, пилотные проекты Росэлектроники)	Массовое применение (например, США – IVAS для армии, NATO-тренажеры)
Игровая индустрия	Слабо развита, мало крупных проектов	Крупнейший сегмент (Half-Life: Alyx, Resident Evil VR и др.)
Цены	Часто выше из-за малых серий и импорта компонентов	Доступные массовые устройства (Oculus Quest 2/3 от $300)
Господдержка	Есть гранты (Сколково, Фонд Бортника), но мало частных инвестиций	Крупные корпоративные инвестиции (Meta, Sony, ByteDance)

Исходя из всего выше сказанного, выделяются ключевые различия в функциональности, поддержке и работе экосистемы. Зарубежные решения часто предлагают более широкий набор функций и инструментов для разработки, имеют более развитую экосистему с большим количеством готовых решений и интеграций. В свою очередь, российские решения лучше адаптированы под локальные требования, но могут уступать в уровне технической поддержки и документации.

При выборе между отечественными и зарубежными технологиями VR важно учитывать не только технические характеристики, но и доступность, стоимость и соответствие конкретным задачам. Каждое направление имеет свои уникальные особенности, которые могут быть как преимуществами, так и ограничениями в зависимости от задач пользователя.

Таким образом, можно сделать вывод, что отечественные решения подходят для проектов, где важны локализация, безопасность и доступная стоимость. Они идеальны для образовательных, корпоративных и государственных задач. Зарубежные решения остаются лидерами в области инноваций и экосистемы, но их использование в России может быть ограничено из-за санкций и высокой стоимости.

Выбор между отечественными и зарубежными технологиями VR зависит от конкретных задач, бюджета и требований к функциональности.

Список используемых источников

1. Маринин Д. Е. Анализ отечественных и зарубежных аналогов VR/AR устройств в сфере безопасности // Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Орел, 27–28 апр. 2023 г. / Орловский ГАУ им. Н. В. Парахина. Орел, 2023. С. 246–251.
2. Головин С. Ю. Анализ рынка дополненной и виртуальной реальности в современной России // Бизнес-образование в экономике знаний. 2019. № 3 (14). С. 26–29.
3. Жданова С. Д., Плашинова Е. А. Развитие технологий виртуальной и дополненной реальности // Научно-технический прогресс как механизм развития современного общества: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Пермь, 13 дек. 2023 г.: в 2 ч. Уфа: Аэтерна, 2023. С. 19–22.
4. Асланов Р. Э. Виртуальная реальность в современных проектных технологиях: инновации, перспективы, внедрение // Методист. Профессиональное образование. 2024. № 4. С. 25–36.

COMPARATIVE ANALYSIS FOR VR AND TECHNICAL DEVICES VR

Ostrovsky Yu., Akopyan L., Gutarov V., Smetanin D.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

In recent years, virtual reality technologies have been rapidly developing, opening up new horizons for business, education, medicine and entertainment. While foreign companies such as Oculus, HTC and Sony have already established themselves in the global market, domestic developers are also actively innovating and creating unique solutions adapted to Russian realities. In this article, we will conduct a comparative analysis of domestic and foreign virtual reality software and technologies, consider their strengths and weaknesses, and discuss the prospects for VR development in Russia and beyond.

Key words: *virtual reality, import substitution, legislation*

УДК 00.004
ГРНТИ 20.19.27

МЕТОДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕКСТА И ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Ю. Я. Перевозник, И. Е. Гвоздков, А. И. Ликарь

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Обработка естественного языка – область исследований, зарождению которой способствовал Алан Тьюринг, в 1950-м году опубликовавший статью «Вычислительные машины и разум». За прошедшие десятилетия она неоднократно претерпевала изменения и расширялась, а сейчас активно применяется в самых разных сферах.

Формальное определение называет обработку естественного языка общим направлением информатики, объединяющим в себе машинное обучение и математическую лингвистику. Менее формальное определение также относит к NLP (Natural Language Processing, обработка естественного языка) инструментальные программные средства, позволяющих работать с текстовой информацией на естественных языках. Предварительная обработка текста – один из важнейших шагов в обработке естественных языков, некачественное исполнение которого может привести к критическим ошибкам при решении поставленных задач.

В статье рассмотрены и проанализированы методы предварительной обработки текста.

обработка естественного языка, анализ текста, методы предварительной обработки текста

Обработка естественного языка – область исследований, зарождению которой способствовал Алан Тьюринг, в 1950-м году опубликовавший статью «Вычислительные машины и разум». За прошедшие десятилетия она неоднократно претерпевала изменения и расширялась, а сейчас активно применяется в самых разных сферах.

Формальное определение называет обработку естественного языка общим направлением информатики, объединяющим в себе машинное обучение и математическую лингвистику [1][2]. Менее формальное определение также относит к NLP (Natural Language Processing, обработка естественного языка) инструментальные программные средства, позволяющих работать с текстовой информацией на естественных языках.

Важной особенностью NLP является концентрация исключительно на естественных языках. По своей природе естественные языки изменчивы и

непостоянны, и, несмотря на большое количество строгих правил, зачастую подвержены исключениям.

В связи с этим при обработке естественных языков возникают проблемы, которые могут показаться человеку тривиальным. Среди них:

Сложности раскрытия анафорических ссылок (интерпретации местоимений в зависимости от контекста). Предложения «Ноутбук не помещается в рюкзак, потому что он слишком большой» и «Ноутбук не помещается в рюкзак, потому что он слишком маленький» похожи по синтаксической структуре, однако в первом случае местоимение «он» относится к ноутбуку, а во втором – к рюкзаку.

Свободный порядок слов в предложениях. Во многих языках, в том числе в русском, порядок слов закреплен нестрого, однако продолжает выполнять синтаксическую функцию, из-за чего одно и то же предложение может быть по-разному интерпретировано. Таким образом, из предложения «Бытие определяет сознание» не ясно, что именно определяет что, однако естественным для носителя русского языка будет предположить, что именно бытие является субъектом.

Часто встречающиеся неологизмы и заимствования, сленг и их сочетания. Такими словами являются устоявшееся слово «гуглить», а также российский аналог «яндексить», подразумевающие поиск в соответствующей поисковой системе.

Правильность понимания омонимов (слов, одинаковых по написанию и/или звучанию, но разных по значению). Классическим для русского языка примером будет предложение «Косил косой косой косой».

Современная цель NLP – разработка и модернизация алгоритмов и технологий, которые обходили бы эти проблемы и позволяли решать задачи, связанные с естественными языками. К ним относятся классификация текста, фильтрация контента по различным критериям, эмоциональный (сентимент) анализ, языковое моделирование, машинный перевод, выделение основной мысли (суммаризация) текста и многие другие.

Однако модели обработки языка не обладают человеческим пониманием текста – они лишь ищут статистические закономерности, с помощью которых решают поставленную перед ними задачу (зачастую достаточно узкую).

В зависимости от поставленных целей используются разные модели, однако для любой языковой обработки текст требуется подготовить: привести к виду, необходимому для машинной обработки.

Предварительная обработка текста – один из важнейших шагов в обработке естественных языков, некачественное исполнение которого может привести к критическим ошибкам при решении поставленных задач.

Даже в самых стандартизированных языках со статичной последовательностью слов в предложении существует множество вариаций написания одних и тех же слов. Так, например, в английском языке глагол «делать» с отрицательной частицей – «do not» – может сокращаться до «don’t», а слово «мороженое» в современной интерпретации быть написано как слитно («icecream»), так и через пробел («ice cream»). Русский язык также обладает вариабельностью: если проспрягать глагол «делать» с учетом родов, чисел и наклонений, мы получим 10 вариаций одного и того же слова.

Поэтому перед непосредственным переводом данных из текстового формата в формат числовых векторов, воспринимаемых машиной, необходимо провести предварительную обработку текста.

На рисунке 1 представлен общий шаблон предварительной обработки естественного текста, рассмотренный на примере предложения «Студенты понимают многое, но не все».

Рис. 1. Общий шаблон предварительной обработки текста

Как можно увидеть из приведенного выше примера, не все шаги обязательно несут смысл для текста. Так, в случае предложения «Студенты понимают многое, но не все» шаг лемматизации можно пропустить, поскольку его результат никак не влияет на результат стемминга. Однако в текстах, состоящих из десятков и сотен слов, лемматизация может значительно сократить количество словоформ.

Рассмотрим вышеуказанные шаги подробнее.

Стандартизация текста – технический процесс, который сводится к простейшим шагам: переводу всего текста в нижний регистр, удалению знаков пунктуации, эмодзи, диакритических знаков и прочих символов, которые считаются лишними при выполнении задачи.

Рассмотрим два предложения: «я обожаю желтый цвет!!! он такой красивый)))» и «Я обожаю желтый цвет; он такой красивый!». С точки зрения носителя языка очевидно, что оба высказывания неразличимы, если не учитывать оттенки эмоциональной окраски. Однако с точки зрения машинного кодирования различия будут кардинальны. Чтобы избежать ошибок, вызванных незначительными отличиями в структуре предложений, проводится стандартизация, при которой из обоих высказываний получится одно: «я обожаю желтый цвет он такой красивый».

Следующим шагом обработки является лемматизация текста. Лемматизация – один из процессов нормализации словоформ, то есть приведения их к леммам – начальным формам слова.

Леммы отличаются для каждого языка. Для русского языка леммами считаются именительный падеж, единственное число (для существительных) и мужской род (для прилагательных), а также неопределенная форма и несовершенный вид (для глаголов).

Лемматизация нужна, чтобы уменьшить вариабельность, исключить повторение однокоренных слов и повысить частотность выборки для статистических методов обработки.

После лемматизации проводится стемминг – процесс, который позволяет выделить основу слова. В отличие от лемматизации, стемминг подразумевает под собой не столько «превращение» одного слова в другое посредством смены времен и склонений, столько «усечение» слова до его базы, которой обычно считается корень.

В некоторых текстах стемминг может полностью заменять собой лемматизацию, поскольку оба процесса считаются процессами нормализации. Однако в русском языке стемминг показывает относительно низкие резуль-

таты, поскольку русский язык изменяется гибко, и у одного и того же слова может быть несколько форм с разными корнями: например, «пишу» и «писать», «сны» и «сон», «расту» и «вырос». При работе с таким языком для получения нормализованных слов целесообразно использовать лемматизацию.

Подробнее стоит рассмотреть процесс токенизации – процесс, наиболее приближенный к превращению естественного текста, воспринимаемого человеком, к его машинному представлению.

Токенизация представляет собой разделение текста на логические единицы (токены), которые в дальнейшем будут приводиться в числовой вид. Бывает несколько видов токенизации: по символам, по предложениям, по словам, и по N-граммам.

Посимвольная токенизация – это разбиение слов на одиночные символы. На практике такая токенизация встречается редко, поскольку подходит только под узкие задачи: например, генерация текста или распознавание речи.

Токенизация по предложениям обычно является только первым шагом и необходима для обработки крупных текстов, которые сначала разбиваются по предложениям, а затем токенизируются дальше: по словам или N-граммам.

Токенизация по словам – это разбиение текста на отдельные компоненты. Обычно для разбиения используется пробел, однако также могут использоваться знаки препинания или специальные словари, учитывающие слова, пишущиеся через пробелы или дефисы.

Токенизация по N-граммам по своей сути близка к токенизации по словам, однако использует пары, тройки и так далее слов, стоящих поблизости в предложении. N-граммы позволяют сохранить некоторый элементарный контекст использования конкретных слов, что может помочь при решении задач анализа текста и его суммаризации.

В примере из пункта 1 рассматривалась токенизация по словам, которую также можно считать токенизацией по униграммам (1-граммам). При этом слова полностью сепарировались, теряя локальный контент. При разбиении на биграммы (2-граммы) предложение из примера было бы разбито следующим образом: «понимать многий», «студент понимать», «многое но», «не все», «но не», «понимать многое», «многий но».

После предварительной обработки живого текста и получения набора токенов текст естественного языка должен быть представлен в виде, доступном для машинной обработки: в виде числовых векторов.

Список использованных источников

1. Риз Р. Обработка естественного языка на Java: практическое пособие / Р. Риз; пер. с англ. А. В. Снастина. М.: ДМК Пресс, 2018. 264 с. ISBN 978-5-97060-331-4.

2. Хобсон Л. Обработка естественного языка в действии / Л. Хобсон, Х. Хапке, К. Ховард; пер. с англ. И. Пальти, С. Черников. Санкт-Петербург: Питер, 2020. 576 с. ISBN 978-5-4461-1371-2.

THE TOPIC OF THE REPORT. METHODS OF TEXT PREPROCESSING AND NATURAL LANGUAGE PROCESSING

Gvozdkov I., Likar A., Perevoznik Y.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Natural language processing is a field of research that was pioneered by Alan Turing, who published the article "Computing Machines and the Mind" in 1950. Over the past decades, it has repeatedly undergone changes and expanded, and is now actively used in a wide variety of fields. The formal definition calls natural language processing a general area of computer science that combines machine learning and mathematical linguistics. A less formal definition also refers to NLP (Natural Language Processing), software tools that allow working with textual information in natural languages. Text preprocessing is one of the most important steps in natural language processing, poor–quality execution of which can lead to critical errors in solving tasks. The article discusses and analyzes the methods of text preprocessing.

***Key words**: natural language processing, text analysis, text preprocessing methods*

УДК 004.91
ГРНТИ 14.01.45

СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫХ ПЛАНОВ ПОДГОТОВКИ НА КУРСАХ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

Ю. Я. Перевозник, И. В. Гвоздков, А. И. Ликарь

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Вопрос совершенствования системы дополнительного профессионального образования является актуальным, поэтому в статье рассматривается методика, которая автоматизирует процесс создания индивидуальных программ обучения, адаптированных под уровень знаний и навыков обучаемых на курсах повышения квалификации.

Главной целью является создание системы, которая позволяет формировать персонализированные планы подготовки для каждого обучаемого.

курсы повышения квалификации, индивидуальная образовательная программа, персонализированный учебный план, оценка знаний.

Современные реалии требуют постоянного обновления и совершенствования профессиональных навыков, особенно в быстро развивающихся отраслях, таких как информационные технологии. Курсы повышения квалификации становятся одним из ключевых инструментов, позволяющих специалистам сохранять свою конкурентоспособность и осваивать новые компетенции, востребованные на рынке.

Спрос на индивидуализированные образовательные программы стремительно растет. Такие программы позволяют учитывать уровень подготовки, особенности обучения и профессиональные потребности каждого учащегося, что делает их эффективным инструментом для повышения квалификации. Однако реализация персонализированных маршрутов обучения требует использования современных технологий, что создает значительные вызовы для образовательных организаций и разработчиков платформ [1].

В данном контексте актуальной становится разработка методики, которая автоматизирует процесс создания индивидуальных программ обучения, адаптированных под уровень знаний и навыков пользователей в области информационных технологий. Такая методика будет направлена на оптимизацию процесса обучения за счет разработки индивидуальных образовательных маршрутов, включая учет исходного уровня знаний и профессиональ-

ных навыков каждого обучающегося. Это открывает новые перспективы в области профессионального обучения.

Целью исследования является разработка методики, которая формирует индивидуальные программы обучения для повышения квалификации специалистов в области информационных технологий. Методика предназначена для анализа уровня знаний пользователей, определения их сильных и слабых сторон и предоставления персонализированных рекомендаций по обучению.

Курсы повышения квалификации являются важным звеном в процессе профессионального роста. В условиях быстро меняющихся требований современного рынка труда специалисты сталкиваются с необходимостью постоянно обновлять свои знания и навыки. Но как сделать процесс обучения более удобным и эффективным?

Основная задача курсов повышения квалификации – помочь профессионалам адаптироваться к новым вызовам и стандартам. Эти курсы имеют несколько уникальных черт, которые отличают их от других форм обучения.

Во-первых, целевая аудитория курсов повышения квалификации – это люди, уже работающие в своей сфере. Им важно совмещать учебу с профессиональной деятельностью, а значит, курсы должны быть максимально гибкими. Организация процесса обучения таким образом, чтобы не мешать основной деятельности обучаемого, – один из важнейших аспектов при разработке современных курсов повышения квалификации.

Во-вторых, краткосрочность – важная особенность. В отличие от долгосрочных программ, таких как университетские курсы, курсов повышения квалификации рассчитаны на сжатые сроки: от нескольких дней до нескольких месяцев. Это требует от участников высокой концентрации и интенсивности.

Наконец, практическая направленность. курсов повышения квалификации ориентированы на применение знаний здесь и сейчас. Участники учатся решать конкретные задачи, с которыми они сталкиваются в своей работе. Это делает такие курсы незаменимыми для профессионального роста.

Цели курсов повышения квалификации варьируются в зависимости от отрасли, но основные задачи остаются общими:

– актуализация профессиональных знаний;
– освоение новых технологий и методик;
– повышение управленческих и аналитических компетенций.

Курсы повышения квалификации находят применение в таких областях, как IT, инженерия, медицина, управление персоналом. В каждой из

них профессионалам требуется регулярное обновление знаний, чтобы оставаться конкурентоспособными. Например, 45 % курсов повышения квалификации направлены на IT, 25 % – на инженерные специальности, 20 % – на медицину, а оставшиеся 10 % – на управление персоналом [2].

Несмотря на свои преимущества, курсов повышения квалификации сталкиваются с рядом сложностей. Например, как сделать процесс обучения действительно персонализированным? По данным исследований, 35 % участников курсов отмечают, что содержание курсов либо слишком сложное, либо, напротив, слишком простое. Это проблема, которая требует внедрения адаптивных подходов [3].

Вторая проблема – формат проведения. Традиционные курсы теряют популярность. Статистика показывает, что их доля снизилась с 50 % в 2018 году до 30 % в 2023 году. В то же время смешанные форматы и онлайн-курсы демонстрируют устойчивый рост (до 40 % в 2023 году). Такой сдвиг подчеркивает необходимость гибких решений, которые объединяют очные и дистанционные элементы. Этот сдвиг также наглядно отражен на графике, представленном на рисунке 1 [4].

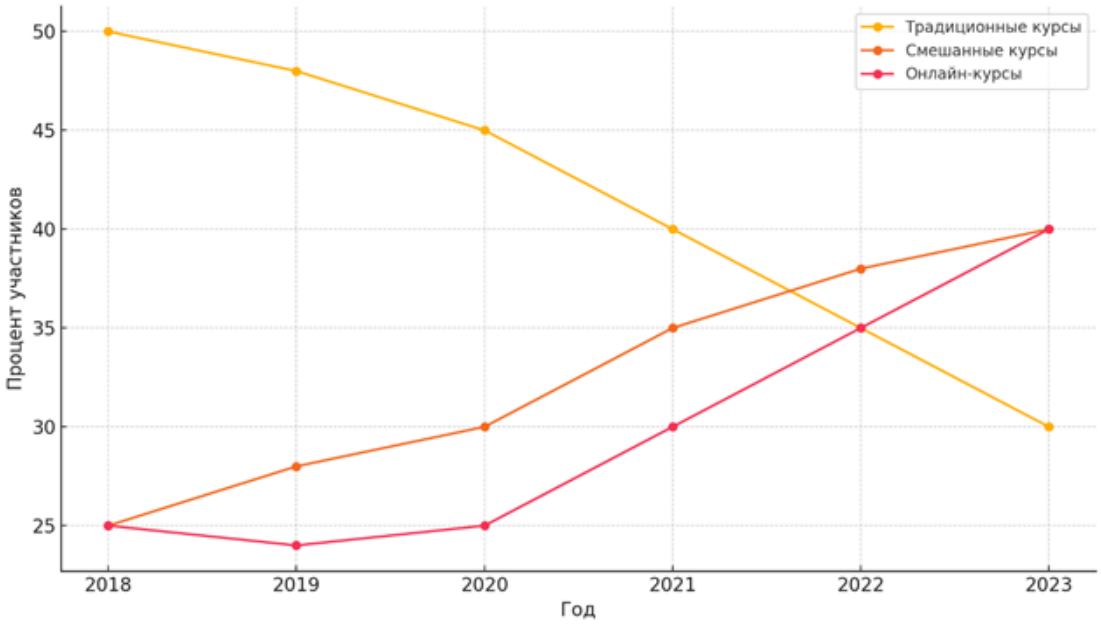


Рис. 1. Популярность форматов КПК в России за 2018-2023 годы

Еще одна ключевая проблема – оценка эффективности. Как измерить, насколько хорошо участник усвоил материал? Многие компании не используют системные подходы к мониторингу прогресса. Это упущение можно исправить с помощью автоматизированных систем оценки, которые не

только фиксируют результаты, но и дают рекомендации для дальнейшего обучения.

Разрабатываемая система направлена на автоматизацию процесса создания индивидуальных образовательных программ для повышения квалификации. Основной целью является упрощение и оптимизация планирования обучения с учетом текущих знаний и навыков пользователя. Это достигается за счет анализа его ответов на теоретические вопросы и решения практических задач.

Главной целью является создание инструмента, который позволяет формировать персонализированные планы подготовки для каждого обучаемого. Система призвана исключить повторение уже знакомых тем, сосредоточив обучение на областях, которые требуют улучшения.

Еще одна важная цель – это ускорение процесса оценки знаний за счет автоматизации анализа текстовых и практических ответов. Это должно не только сократить время на диагностику, но и обеспечить высокую точность определения уровня подготовки.

Кроме того, система нацелена на упрощение доступа к обучению: пользователи должны иметь возможность легко взаимодействовать с интерфейсом, быстро находить нужные функции и получать полный контроль над своим процессом обучения.

Наконец, система должна повысить мотивацию пользователей за счет предоставления понятных рекомендаций и наглядной обратной связи, что позволит студентам видеть свои результаты и прогресс.

В качестве входных данных система принимает данные обучаемого в модуле входа и регистрации, а также ответы пользователей на теоретические вопросы и практические задачи, которые они решают. Эти данные обрабатываются с учетом предоставленных личных данных для авторизации и персонализации.

Также важным элементом являются заранее обученная языковая модель и подготовленные учебные материалы, которые используются для анализа и формирования рекомендаций. Такой подход позволяет учитывать как текстовые, так и программные ответы, формируя полное представление об уровне знаний обучаемого.

На выходе система предоставляет следующие результаты: оценки ответов на теоретические вопросы и результаты проверки практических задач, сформированные на основе анализа модели. Эти оценки служат основой для составления персонализированного учебного плана, который содержит рекомендации по дальнейшему обучению.

Также выходные данные содержат все решения пользователя, которые были сделаны в ходе прохождения теоретической и практической части. К этим данным прилагаются рекомендованные часы по определенным темам теста.

Аналитика формируется на основе классификации ответов, распределенных по категориям, с расчетом учебных часов на основе оценок. Система выводит результаты анализа, включая сильные и слабые стороны, и генерирует учебный план, адаптированный к индивидуальным потребностям пользователя.

Создание комплексного инструмента позволяет эффективно оценивать уровень знаний обучаемых, анализировать их сильные и слабые стороны и формировать персонализированные планы обучения.

Предложенная система автоматизации обучения демонстрирует потенциал современных технологий в создании персонализированных образовательных решений.

Список используемых источников

1. Беляев А. Н. Методы и подходы к созданию систем тестирования знаний. Казань: Казанский федеральный университет, 2020. 157с.

2. Калашников Д. Ю. Адаптивные системы обучения: персонализация и автоматизация. Новосибирск: Наука, 2021. 48 с.

3. Подходы к изучению образовательных моделей и методов для подготовки специалистов по программной инженерии Иванова И. В., Копейкин М. В., Мазаков Е. Б., Спиридонов В. В. В сборнике: Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. Сборник научных трудов I Всероссийской научной конференции. 2017. С. 219-227.

4. Курчатов В. И. Искусственный интеллект в образовании: применение и перспективы. М.: Высшая школа, 2023. 234 с.

A SYSTEM FOR CREATING PERSONALIZED TRAINING PLANS FOR ADVANCED TRAINING COURSES

Perevoznik Yu., Gvozdkov I., Likar A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The issue of improving the system of additional professional education is relevant, therefore, the article considers a methodology that automates the process of creating individual training programs adapted to the level of knowledge and skills of trainees in advanced training courses.
The main goal is to create a system that allows you to create personalized training plans for each student.

Key words: *advanced training courses, an individual educational program, a personalized curriculum, and knowledge assessment*

УДК 004.056.53
ГРНТИ 20.53.25

БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ СКРИПТОВ В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯХ: РИСКИ, УГРОЗЫ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ

Ю. Я. Перевозник, И. В. Гвоздков, Э. Г. Омаров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Активное развитие технологий пользовательской модификации веб-пространства, включая применение скриптов, расширений и пользовательских стилей, открывает широкие возможности для индивидуальной настройки интерфейсов и улучшения пользовательского опыта. Вместе с тем, растущая популярность таких решений сопровождается существенными рисками в области информационной безопасности, в том числе распространением вредоносных скриптов, утечками персональных данных и нарушением целостности веб-приложений.

пользовательские скрипты, веб-безопасность, расширения браузера, DOM-модификация, защита данных, уязвимости

Современные веб-приложения обладают сложной логикой работы и активным взаимодействием с пользователем, что делает их уязвимыми к изменениям со стороны клиентской части. Один из наиболее распространенных способов такого вмешательства – использование пользовательских скриптов, выполняющихся прямо в браузере. Эти скрипты, как правило, написаны на JavaScript и могут напрямую изменять структуру и содержание веб-страниц, управлять сетевыми запросами и обращаться к внутренним функциям сайта. Хотя основное их применение связано с улучшением комфорта использования – например, удаление лишних элементов интерфейса или автоматизация повторяющихся действий – такой подход также способен представлять угрозу безопасности при недобросовестном использовании [1].

К основным угрозам, связанным с использованием пользовательских скриптов, относятся:

– скрипты, запущенные в браузере, могут получать доступ к чувствительной информации, вводимой пользователем на сайте. При наличии расширенных разрешений они способны считывать логины, пароли, данные банковских карт и другие личные сведения, что создает риск несанкционированного сбора и передачи этих данных третьим лицам [2];

– установка скрипта из недостоверного источника может привести к выполнению вредоносных действий на устройстве пользователя. Такие скрипты способны загружать вредоносное ПО, перенаправлять пользователя на поддельные сайты или выполнять скрытые операции без его ведома, что создает серьезные риски для безопасности;
– при неправильной работе скрипта возможны изменения в структуре или поведении веб-страницы, которые вызывают ошибки в работе сайта. Это может нарушить отображение интерфейса, блокировать ключевые функции или сделать взаимодействие с ресурсом нестабильным и непредсказуемым;
– скрипты с вредоносным содержанием могут изменять отображаемую информацию на веб-страницах. Это позволяет злоумышленникам подменять тексты, изображения, цены и другие элементы интерфейса, вводя пользователя в заблуждение или побуждая к нежелательным действиям [3].

Наибольший риск возникает в системах, где отсутствует строгая проверка публикуемых скриптов. Открытые каталоги с большим числом доступных решений без предварительного контроля упрощают распространение вредоносных компонентов. Дополнительно существует вероятность взлома профилей разработчиков или внешних источников хранения, из-за чего даже ранее безопасные скрипты могут быть изменены и использоваться в недобросовестных целях.

Методы защиты от указанных угроз должны предусматривать комплексный подход и включать следующие меры:
– изоляция скриптов в песочнице (sandbox). Создание безопасного окружения, в котором пользовательский код не сможет выйти за рамки строго определенных возможностей;
– ограничение прав доступа. Реализация гибкой системы разрешений, аналогичной модели безопасности в мобильных ОС, где каждый скрипт запрашивает доступ к конкретным данным или сайтам;
– криптографическая верификация исходного кода. Подпись скриптов цифровыми сертификатами, что позволит убедиться в подлинности и неизменности кода;
– репутационные рейтинги и модерация. Формирование системы доверия на основе отзывов, проверок и истории разработчиков;

– мониторинг активности и поведенческий анализ. Использование методов машинного обучения для выявления аномального поведения скриптов и блокировки подозрительных действий в реальном времени [5].

На фоне активного развития решений для настройки интерфейса сайтов особенно важны платформы, обеспечивающие безопасное и контролируемое использование пользовательских скриптов. Перспективными являются сервисы, в которых реализованы механизмы проверки кода, синхронизации данных и прозрачности всех изменений. Благодаря открытой архитектуре и поддержке работы на разных устройствах, такие системы позволяют пользователям гибко настраивать веб-пространство, не жертвуя при этом безопасностью и стабильностью [4].

Подводя итоги, можно указать на то, что пользовательские скрипты представляют собой двойственную технологию: с одной стороны, они расширяют возможности персональной настройки сайтов, с другой – могут быть источником серьезных рисков. Эффективное и безопасное использование таких решений требует построения экосистемы, где открытость сочетается с надежной проверкой и контролем. Важную роль в этом играют как технические инструменты защиты, так и нормативные подходы, формирующие доверие между пользователями и платформой. Реализация комплексной системы безопасности позволит не только снизить угрозы, но и раскрыть весь потенциал индивидуального взаимодействия с цифровой средой.

Следовательно, нормативное регулирование в сфере защиты информации играет ключевую роль в предотвращении ее недобросовестного использования. Устанавливая рамки для сбора, обработки и хранения персональных данных, законодательство помогает снизить риски дискриминации по признакам расы, пола, религиозных взглядов и другим чувствительным основаниям. Это создает основу для справедливого и безопасного цифрового взаимодействия [4].

Во многих странах действуют правовые механизмы, направленные на защиту персональных данных и обеспечение прозрачности их обработки. Например, в Европейском союзе действует регламент GDPR, который охватывает все этапы работы с личной информацией и обязателен для всех стран-участниц. В США разработаны отраслевые нормативы, такие как HIPAA – для регулирования доступа к медицинским данным, и COPPA – для защиты информации, собираемой у детей младше 13 лет. Эти меры формируют правовую основу для ответственного использования данных в цифровом пространстве.

Обеспечение безопасности персональных данных представляет собой комплексную задачу, которая требует взаимодействия различных участников, включая граждан, организации и государственные структуры. В последние годы были предприняты разнообразные шаги для усиления защиты данных как на уровне отдельных стран, так и на международной арене. Среди наиболее важных мероприятий можно выделить следующие:

– принять национальные законы о защите персональных данных, такие как Федеральный закон Российской Федерации «О персональных данных», в котором определены обязанности организаций, обрабатывающих персональные данные, и права отдельных лиц;
– внедрить меры безопасности для защиты персональных данных от несанкционированного доступа, раскрытия и уничтожения, такие как технические меры, такие как шифрование и контроль доступа, и организационные меры, такие как учебные программы и усилия по повышению осведомленности;
– повысить осведомленность о конфиденциальности, проводя информационные кампании, образовательные программы и предоставляя четкие и понятные политики конфиденциальности.

Защита персональных данных требует многогранного подхода, который включает в себя принятие законов и нормативных актов, создание надзорных органов, внедрение мер безопасности и повышение осведомленности о правах на неприкосновенность частной жизни и рисках. Эти шаги необходимы для уважения и защиты частной жизни отдельных лиц [5].

Обеспечение защиты персональных данных и информации важно для сохранения конфиденциальности, обеспечения прозрачности, повышения уровня подотчетности и предотвращения злоупотреблений как личными, так и общественными данными. Для того чтобы соответствовать постоянно изменяющимся условиям в области безопасности и конфиденциальности, государственные органы и организации должны регулярно обновлять и усиливать действующие законы и нормативные акты. Кроме того, отдельные лица также могут предпринять шаги для защиты своих персональных данных. Сосредоточив усилия на защите личной информации, можно снизить риски мошенничества и кражи данных, а также повысить уровень доверия и ответственности в организациях.

Список используемых источников

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 146 «Об утверждении Правил организации и осуществления государственного контроля и надзора за обработкой персональных данных» // СЗ РФ. 18.02.2019. № 7. Ст. 673.
2. Определение Верховного суда Российской Федерации от 24 июня 2015г. № 18-АПГ15-7. URL: http://www.vsrf.ru/stor_pdf.php?id=1350850 (дата обращения 02.04.2025).
3. Корнев И. Защита персональных данных в международном контексте (22 ноября 2018). URL: https://www.advgazeta.ru/mneniya/zashchita-personalnykh-dannykh-v-mezhdunarodnom-kontekste/ (дата обращения 02.04.2025).
4. Кудашкин Я. В. Правовое обеспечение безопасности обработки персональных данных в сети Интернет / Я. В. Кудашкин. М.: МГУ, 2019. 199 с.

SECURITY OF USER SCRIPTS IN WEB APPLICATIONS: RISKS, THREATS AND METHODS OF PROTECTION

Perevoznik Yu., Gvozdkov I., Omarov E.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The active development of technologies for custom modification of the web space, including the use of scripts, extensions, and user styles, opens up wide opportunities for customizing interfaces and improving the user experience. At the same time, the growing popularity of such solutions is accompanied by significant risks in the field of information security, including the spread of malicious scripts, leaks of personal data and violation of the integrity of web applications.

Key words: *personal data protection, information protection, legislation, information systems security, security, fraud, data leaks*

УДК 004.9
ГРНТИ 50.41.25

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОЧЕРЕДЯМИ СТУДЕНТОВ В ВУЗАХ

И. И. Петров, А. А. Олимпиев

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье описаны особенности организации деятельности административных служб вуза, связанные с обработкой запросов студентов. Приводятся результаты анализа типовых видов очередей студентов, которые появляются в моменты обслуживания запросов. Предлагается решение по автоматизации этих процессов, подразумевающее создание сервиса, в котором будут реализованы функции предварительной записи и обеспечения возможности подготовиться заранее к обработке запросов, поступающих от студентов.

автоматизированные системы управления в вузах, управление очередями посетителей

Современные университеты сталкиваются с высокой нагрузкой на административные службы из-за большого количества студентов, которым необходимо решать академические и административные вопросы. Взаимодействие студентов с вузом включает в себя оформление справок и документов (например, справки о месте учебы, заявки на академический отпуск, восстановление после отчисления), подачу заявлений на получение стипендий и льгот, запись на консультации к преподавателям, защиту курсовых и дипломных проектов, пересдачу экзаменов и другие виды отчетности.

Все вузы Российской Федерации в той или иной степени оснащены автоматизированными системами управления внутренним документооборотом (см. например [1, 2]), при этом каждый вуз и его автоматизация обладает своими особенностями [3]. При этом из-за присущей отрасли динамики в стандартах, многие процессы автоматизированы не в полном объеме, а также недостаточно уделено внимание оптимизации этих процессов.

В частности, из-за ограниченного количества сотрудников, несовпадения их рабочего графика с расписанием студентов и отсутствия современных цифровых решений, процессы обработки запросов, поступающих от студентов, сопровождаются значительными временными затратами и не-

удобствами. В результате в административных отделах вузов (деканаты, учебные части, службы и т.п.) образуются длинные очереди, студенты вынуждены лично посещать офисы, чтобы уточнить информацию или получить документы, а сотрудники работают в условиях высокой нагрузки, что снижает качество обслуживания и увеличивает вероятность ошибок.

Основной проблемой является отсутствие единой системы управления очередью, из-за чего студенты не имеют возможности быстро решить свою проблему. Это приводит к перегрузке в определенные часы, а также неэффективному планированию рабочего времени сотрудников. Кроме того, процессы часто сопровождаются низкой прозрачностью: студент, подавший заявку, не имеет возможности отследить ее статус, из-за чего вынужден повторно обращаться в администрацию. Во многих вузах до сих пор используется бумажный документооборот или устаревшие системы, которые не позволяют автоматизировать рутинные операции, что приводит к задержкам и увеличению нагрузки на персонал.

Автоматизация процессов управления очередями студентов является ключевым решением для оптимизации работы вузов. Внедрение цифровых инструментов, таких как онлайн-запись на прием, автоматическое распределение времени обслуживания, электронные уведомления о статусе заявок и доступ студентов к информации в режиме реального времени, позволит значительно сократить очереди, улучшить организацию работы сотрудников и повысить удобство взаимодействия студентов с администрацией. Это обеспечит равномерное распределение нагрузки, минимизирует временные затраты и повысит прозрачность всех процессов, что положительно скажется на удовлетворенности всех участников образовательного процесса.

В соответствии с современными рекомендациями по разработке информационных систем [4], правильным решением для поставленной проблемы будет разработка сервиса, который обладает ограниченным контекстом [5] и взаимодействует с другими сервисами вуза для получения недостающей информации для своей работы.

Сервис должен включать в себя следующие функциональные компоненты:

– конфигурирование очередей;
– взаимодействие с очередью со стороны студентов;

– взаимодействие с очередью со стороны сотрудника;
– маршрутизация потоков студентов между очередями.

Для разработки информационной модели был проведен анализ существующих решений, которые реализованы в других организациях: МФЦ, поликлиниках, кассах и т.п. В результате анализа была получена следующая классификация очередей:

– очередь ожидания – организуется в тех ситуациях, когда имеет место дефицит затребованного ресурса и студент вынужден ждать его появления;
– очередь заказов – организуется в тех случаях, когда на работу организации требуется время, значительно большее, чем выделено на взаимодействие со студентом;
– очередь предварительной записи на прием – применяется в тех ситуациях, когда нужно решать много коротких типовых запросов, поступающих от многих студентов и необходимо управлять количеством людей, которые стоят у кабинета и ждут, когда их вопрос решится;
– организованная живая очередь – применяется в тех ситуациях, когда студент приходит без предварительной записи и хочет получить ответ на типовой вопрос, а сотруднику нужна информация о его приходе заранее, чтобы подготовиться к разговору с ним и решить вопрос в короткий промежуток времени;
– самоорганизующаяся живая очередь – применяется в тех ситуациях, когда нужно решать много нетиповых индивидуальных запросов, поступающих от студентов, а время на решение вопроса заранее не известно.

Разрабатываемый сервис должен предоставлять возможность управлять любой из перечисленных очередей, для чего в нем необходимо реализовать следующую логику работы студента и сотрудника:

Шаг 1. Студент формулирует запрос и отправляет его в сервис;

Шаг 2. Сервис предоставляет студенту инструкцию о последовательности действий для решения его запроса;

Шаг 3. Если студенту нужно ждать ответа, то его запрос становится в лист ожидания;

Шаг 4. Если сервису известно, как решать поступивший запрос, то студент записывается на прием в часы работы подразделения, либо получает информацию, куда и к какому времени нужно прийти;

Шаг 5. Если студент находится в листе ожидания, то сотрудник периодически просматривает лист ожидания и приглашает на прием в определенное время;

Шаг 6. Для любой из типов очередей наступает момент времени, когда студент приходит на прием;

Шаг 7. Если у аудитории, в которой осуществляется обработка запросов студентов, реализована организованная живая очередь, то студент получает талон, где указывает, что он пришел (это можно реализовать, например, посредством считывания QR-кода приложением);

Шаг 8. Если очередь самоорганизующаяся, то студенты сами договариваются между собой, в каком порядке они будут заходить в аудиторию;

Шаг 9. Если очередь организованная, то студентов вызывают в аудиторию, в противном случае, сотрудник говорит, что может зайти следующий;

Шаг 10. Когда студент заходит в аудиторию, то сотрудник отмечает, что студент пришел, и решает его проблему.

В тех случаях, когда студенту нужно обойти несколько подразделений в определенном порядке, сервис должен предоставлять возможность настраивать маршрут движения студента, а также автоматически вычислять оптимальные времена для прихода студента на прием с учетом расписания занятий студента.

На рисунке 1 представлена информационная модель сервиса. Ввиду того, что сервис должен быть реализован в виде ограниченного контекста, то в информационной модели сервиса не должны быть реализованы сущности, которые уже есть в других сервисах вуза (например, сведения о студенте и сотруднике, которые есть в личном кабинете). Поэтому можно утверждать, что необходимым и достаточным набором сущностей, которые требуется реализовать в сервисе, является следующий перечень:

– типы очередей;
– очередь;
– график работы;
– маршруты студентов;
– запрос от студента;
– позиция в очереди;
– результат обработки запроса.

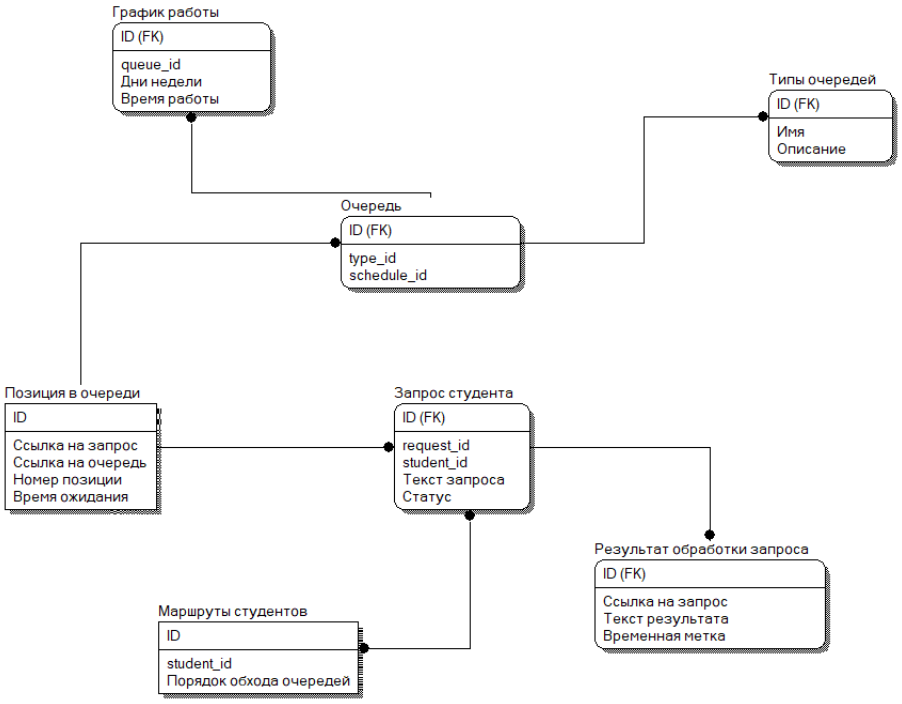


Рис. 1. Информационная модель сервиса

Внедрение сервиса автоматизации управления очередями студентов в вузе позволит существенно оптимизировать взаимодействие студентов с административными службами. Ожидается, что реализация системы приведет к снижению времени ожидания за счет системы онлайн-записи и управления очередями, что позволит студентам заранее планировать посещение необходимых служб и избегать долгих ожиданий. Важным эффектом станет повышение прозрачности процессов, поскольку студенты будут оперативно получать информацию о статусе своих запросов, изменениях в графике приема и результатах обработки заявок.

Автоматизация рутинных задач, таких как прием заявок, выдача справок и управление расписанием, снизит нагрузку на сотрудников, позволив им сосредоточиться на более сложных задачах. Кроме того, система обеспечит большую гибкость и удобство для студентов, предоставляя возможность выбора удобного времени посещения, что уменьшит необходимость пропусков занятий из-за административных процедур.

Равномерное распределение обращений студентов по времени поможет устранить пиковые нагрузки, предотвращая скопление очередей в определенные часы, а цифровой учет запросов и автоматизированная обработка минимизируют ошибки, связанные с потерей документов, дублированием заявок или неточностями в их обработке. В результате повысится удовле-

творенность всех участников процесса: студенты получат удобный инструмент для быстрого решения своих вопросов, а сотрудники вуза смогут работать в более комфортных условиях без перегрузок. Таким образом, реализация сервиса обеспечит повышение эффективности административных процессов, улучшит качество обслуживания студентов и оптимизирует работу вузовских подразделений.

Список используемых источников

1. Клишин А. П., Волкова Н. Р., Еремина Н. Л., Мытник А. А., Клыжко Е. Н. Подходы к автоматизации документооборота в вузе // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2017. № 1.

2. Гречишкин А. А., Баранова Е. М., Баранов А. Н., Борзенкова С. Ю. К вопросу автоматизации деятельности вузов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. № 12.

3. Бабошин В. А., Костюк А. В. Особенности автоматизации процессов управления образовательной деятельностью // I-methods. 2018. № 4.

4. Ричардс Марк, Форд Нил. Фундаментальный подход к программной архитектуре: паттерны, свойства, проверенные методы. СПб.: Питер, 2024. 448 с.

5. Хононов В. Изучаем DDD – предметно-ориентированное проектирование: пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2024. 320 с.

AUTOMATED QUEUE MANAGEMENT SYSTEM FOR STUDENTS AT UNIVERSITIES

Petrov I., Olimpiev A.
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article describes the specifics of the organization of the university's administrative services related to the processing of student requests. The results of the analysis of typical types of student queues that appear at the time of request service are presented. A solution is proposed to automate these processes, implying the creation of a service that will implement the functions of pre-registration and provide an opportunity to prepare in advance for processing requests from students.

Key words: *automated management systems in universities, management of queues of visitors*

УДК 519.85
ГРНТИ 27.37.17

КРИТЕРИАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РИСКОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

П. В. Плотников, О. Х.-М. Бритаева

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В статье рассматривается задача критериального оценивания экономических рисков в современных условиях, где значительное влияние на результаты оказывает неопределенность и множество факторов. Для анализа и оценки финансовых рисков используются экономико-математические модели, основанные на учете случайных факторов, что делает их стохастическими. Оценка рисков в таких моделях может строиться на принципах теории вероятностей, нечеткой логики и игровых теорий. В работе описаны подходы и проведен сравнительный анализ различных методов и моделей, применяемых для решения задач оценки экономических рисков.

критерии полной неопределенности, субъективная вероятность, статистическая вероятность, нечеткая логика, агрегирование аудиторского риска

Математическое моделирование позволяет прогнозировать и оценивать финансовые риски. В таких моделях риск рассматривается как случайный фактор [1], поэтому они называются стохастическими, а их состояние определяется законами распределения вероятностей. Любая стратегия управления на рынке сопряжена с различными возможными исходами, причем каждому из них соответствует определенная вероятность, заранее известная лицу, принимающему решение. Для упрощения анализа стохастическую модель преобразуют в детерминированную. Это достигается с помощью двух основных методов: искусственного приведения к детерминированной схеме и оптимизации на основе средних значений.

В первом подходе вероятностное описание явления обычно заменяется детерминированным. Это достигается путем замены случайных факторов, участвующих в задаче, их устойчивыми характеристиками, как правило, математическими ожиданиями. Этот метод применяется в ориентировочных расчетах и в ситуациях, когда разброс значений случайных величин незначителен. В случаях, когда эффективность управления линейно зависит от случайных параметров, данный подход приводит к тем же результатам, что и метод «оптимизации в среднем».

При применении метода «оптимизации в среднем» оптимальной стратегией X является такая, которая, соблюдая ограничения на допустимые значения вектора X в области Q_x, максимизирует математическое ожидание исходного показателя эффективности $F = M[Q]$. Это означает, что выбранная стратегия X гарантирует наилучший результат лишь при многократном повторении одной и той же ситуации в одинаковых условиях. Эффективность каждого отдельного выбора сопряжена с риском и может отклоняться от среднего значения.

Важно разграничивать стохастические и неопределенные факторы, влияющие на процесс принятия решений. Стохастические факторы характерны для условий риска и могут быть полностью описаны известной вероятностной информацией, что позволяет определить наилучшее решение в среднем. Неопределенные факторы, напротив, не имеют такой информации, что делает прогнозирование и выбор оптимального решения значительно сложнее, поскольку возможные исходы остаются неизвестными.

В целом неопределенность может возникать по двум причинам: либо из-за противодействия разумного противника, либо вследствие недостаточной осведомленности о внешних условиях, в которых принимается решение. Рассмотрим подходы к выбору решений в условиях недостаточной информации о среде, где осуществляется выбор. Такие ситуации называют «играми с природой» [2], поскольку они не предполагают наличия осознанного противника, а связаны с неопределенностью внешних обстоятельств. В условиях «игры с природой» задача принятия решений формулируется следующим образом. Предположим, что лицо, принимающее решение (ЛПР) может выбрать один из m возможных вариантов: $x_1, x_2, \ldots, x_m$. Однако условия, в которых будет реализовано решение, заранее неизвестны. Допустим, можно выделить n возможных сценариев (состояний окружающей среды): $y_1, y_2, \ldots, y_n$. Эффективность каждого решения x_i при каждом состоянии y_j оценивается с помощью матрицы выигрышей $A = |a_{ij}|$, где a_{ij} – это выигрыш или результат при выборе решения x_i в условиях y_j.

При этом априорная информация о вероятностях возникновения состояний y_j отсутствует, что означает невозможность точного прогнозирования будущей ситуации. В таких условиях для выбора наилучшей стратегии применяются специальные критерии принятия решений, основанные на принципах минимизации рисков, максимизации ожидаемой выгоды и учета худших сценариев.

Широко используемые критерии приведены в таблице 1/

ТАБЛИЦА 1. Сравнение критериев

Название критерия	Формула	Характеристика
Критерий Лапласа	$\overline{F} = F(\overline{X}, Y) = \max\limits_{1 \le i \le m} \left(\frac{1}{n} \sum\limits_{j=1}^{n} a_{ij} \right)$	Оптимальному решению будет соответствовать решение, которому соответствует максимальное значение среднего арифметического строки матрицы выигрышей
Критерий Вальда	$\overline{F} = F(\overline{X}, Y) = \max\limits_{1 \le i \le m} \min\limits_{1 \le j \le n} (a_{ij})$	В каждой строчке матрицы выбирают минимальную оценку. Оптимальному решению соответствует решение, которому соответствует максимум этого минимума
Критерий Сэвиджа	$r_{ij} = \max\limits_{1 \le i \le m} (a_j - a_{ij})$ $\overline{F} = F(\overline{X}, Y) = \max\limits_{1 \le i \le m} \min\limits_{1 \le j \le n} \left(\max\limits_{1 \le i \le m} a_j - a_{ij} \right)$	Строится матрица рисков с элементами r_{ij}, из матрицы рисков выбирают решение, при котором величина риска принимает наименьшее значение в самой неблагоприятной ситуации
Критерий Гурвица	$\overline{F} = F(\overline{X}, Y) = \max\limits_{1 \le i \le m} \left(\alpha \max\limits_{1 \le j \le n} a_{ij} + (1 - \alpha) \min\limits_{1 \le j \le n} a_{ij} \right)$	Вводится «коэффициентом оптимизма» $0 < \alpha < 1$. Оптимальному решению будет соответствовать решение, которому соответствует максимум линейной комбинации максимумов и минимумов

В стохастических моделях удобным способом формализации неопределенности является концепция «состояния мира». Согласно этому подходу, мировая экономика рассматривается как случайный эксперимент, который математически описывается вероятностным пространством (Ω,F,P).

В рамках данной концепции каждое элементарное событие $w \in \Omega$ представляет собой исход такого эксперимента и полностью определяет значения экзогенных переменных – факторов, находящихся вне модели. Таким образом, неопределенность выражается через множество случайных собы-

тий A, принадлежащих σ -алгебре F, а ее количественная оценка задается вероятностной мерой $P(A)$.

Математические модели оценки рисков существенного искажения отчетности могут строиться с применением методов нечетких множеств [3]. В частности, в оценке аудиторского риска [4] рассматриваются возможности использования нечеткой логики, что позволяет учитывать степень неопределенности при анализе финансовой информации.

В этом подходе аудитор выступает в роли эксперта, который, опираясь на свое профессиональное суждение, оценивает степень принадлежности элемента к определенному множеству. Для этого он может выбрать любое значение из интервала $[0,1]$, отражающее уровень уверенности. Таким образом, степень принадлежности элемента к множеству может изменяться, позволяя гибко учитывать различные уровни неопределенности в процессе аудита.

Метод нечетких множеств использует такие ключевые понятия, как входная переменная, входная лингвистическая переменная и выходная лингвистическая переменная нечеткого вывода. В качестве входной переменной используется величина, выявленная в процессе аудита, которая отражает искажение данных бухгалтерского учета и отчетности, указывающее на нарушение предпосылок для составления бухгалтерской отчетности.

Входная лингвистическая переменная представляет собой степень несоблюдения предпосылок составления бухгалтерской отчетности, что позволяет классифицировать данные по различным уровням нарушений.

Выходная лингвистическая переменная в этой модели отражает уровень риска существенного искажения отчетности, который определяется на основе анализа входных данных.

Предложенные математические модели оценки финансовых рисков обобщают существующие методики, применяемые на практике, и позволяют проводить более точные сравнения оценок. Это, в свою очередь, способствует более эффективному принятию решений в финансовой деятельности организаций.

В заключении приведем сравнение рассмотренных подходов к оценке экономических рисков в условиях неопределенности по трем основным факторам в виде таблицы 2.

ТАБЛИЦА 2. Сравнительный анализ эффективности по факторам

Математическая модель	Фактор		
	Отсутствие подробной информации	Наличие информации о планируемых доходах и возможных убытках	Наличие информации о неотъемлемом риске, контрольном риске и риске необнаружения
Игра с природой	+	-	-
Вероятностное пространство (Ω, F, P)	-	+	-
Нечеткая логика	-	-	+

Список используемых источников

1. Меньшиков И. С. Лекции по теории игр и экономическому моделированию. М., ООО «Контакт плюс». 2010. 336с.

2. Данилов В. И. Лекции по теории игр. М.: Российская экономическая школа, 2001. 342 с.

3. Блюмин С. Л. Нечеткая логика: алгебраические основы и приложения / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова, П. В. Сараев. Липецк: Изд-во ЛЭГИ, 2002. 113 с.

4. Кочинев Ю. Ю. Оценка аудиторского риска: основы теории // Аудит и финансовый анализ. 2009. № 1. С. 80–92.

CRITERION-BASED ASSESSMENT OF ECONOMIC RISKS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Plotnikov P., Britaeva O.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article considers the task of criterion evaluation of economic risks in modern conditions, where uncertainty and a multitude of factors have a significant impact on the results. To analyze and assess financial risks, economic and mathematical models based on the consideration of random factors are used, which makes them stochastic. Risk assessment in such models can be based on the principles of probability theory, fuzzy logic and game theories. The paper describes approaches and provides a comparative analysis of various methods and models used to solve the problems of economic risk assessment.

Keywords: *total uncertainty criteria, subjective probability, statistical probability, fuzzy logic, aggregation of audit risk*

УДК 004.946
ГРНТИ 28.17.33

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПО ДЛЯ САПР-ПРОЕКТИРОВАНИЯ

О. В. Раковский, А. Е. Аньшаков

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Системы автоматизированного проектирования широко применяются для решения производственных задач и имеют большой инновационный потенциал в различных отраслях. Вместе с этим имеются проблемы, которые испытывают разработчики подобных систем при их адаптации к международным стандартам или конкретной среде эксплуатации. Анализ существующих решений позволяет использовать передовые технологии для совершенствования процесса автоматизированного проектирования.

программная инженерия, SAPR, C#, САПР, EPC, Digital Twin

В современном мире роль ПО для САПР-проектирования очень ценна и незаменима, очень хорошим примером результата работы можно представить в виде цифровых двойников. В последние годы строительная отрасль переживает настоящую цифровую трансформацию. Одной из ключевых технологий, меняющих подходы к проектированию, строительству и эксплуатации зданий, является концепция цифровых двойников.

Цифровой двойник – это виртуальная копия реального физического объекта, процесса или системы, которая создается для моделирования и анализа поведения этого объекта в различных условиях. В контексте строительства цифровой двойник представляет собой точную трехмерную модель здания или сооружения, дополненную данными о его физических характеристиках, материалах, инженерных системах и даже эксплуатационных параметрах.

Создание цифровых двойников невозможно без качественного программного обеспечения. Сегодня работа в цифровом пространстве коренным образом изменило организацию работы по проектированию и строительству в целом.

В сфере проектирования и строительства инженерных объектов (EPC – Engineering, Procurement, Construction) [1] программное обеспечение играет ключевую роль для оптимизации процессов, повышения точности расчетов и улучшения взаимодействия между различными участниками проекта.

Среди наиболее популярных программных решений выделяются такие продукты, как AVEVA [2] и Tekla Structures [3], каждый из которых имеет свои особенности и предназначение.

ПО AVEVA – это комплексный набор инструментов для управления инженерными данными и проектированием промышленных объектов. Он включает множество модулей.

– AVEVA Everything3D (E3D) – решение для трехмерного моделирования сложных промышленных объектов, включая заводы, нефтехимические комплексы и морские платформы. Позволяет создавать высокоточные модели, интегрированные с инженерными расчетами и документацией;
– AVEVA Diagrams – инструмент для создания схем и диаграмм, который помогает инженерам визуализировать процессы и системы на различных этапах проектирования;
– AVEVA Engineering – модуль для автоматизации инженерных задач, включающий управление спецификациями оборудования, трубопроводной арматуры и материалов;
– AVEVA Information Management – система управления информацией о проекте, которая позволяет отслеживать изменения, версии документов и контролировать доступ к данным.

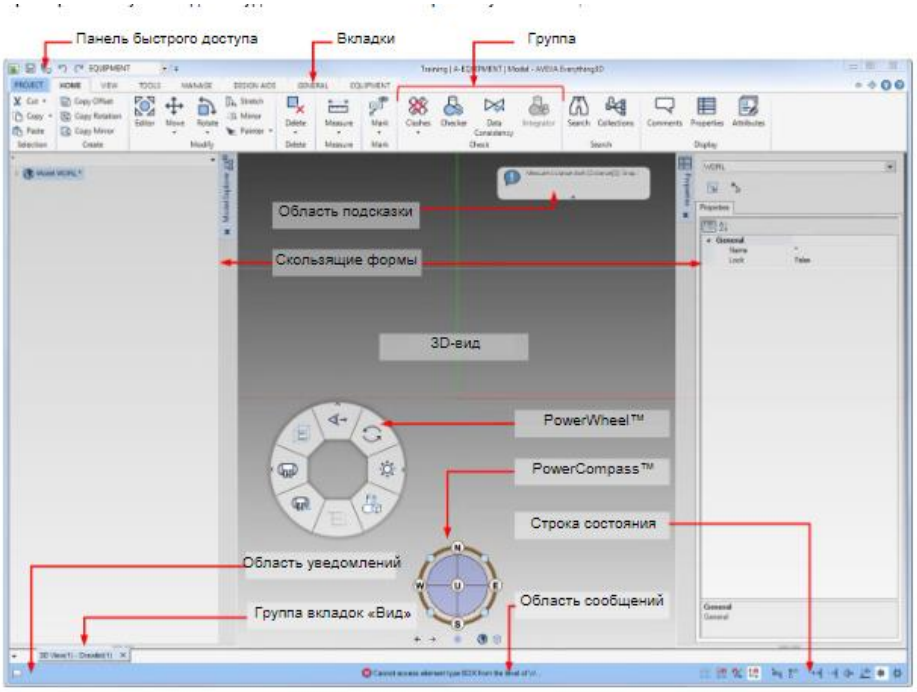


Рис. 1. Интерфейс AVEVA E3D

Преимущества использования AVEVA следующие:

– интеграция всех этапов проектирования от концептуального до детального уровня;
– возможность работы с большими объемами данных и их синхронизация между различными отделами и специалистами;
– поддержка стандартов и норм, применяемых в промышленности;
– визуализация проектов в реальном времени, что упрощает принятие решений и контроль за выполнением работ.

Tekla Structures – популярная программа для информационного моделирования зданий (BIM), разработанная компанией Trimble [4]. Она используется для создания точных моделей строительных конструкций, включая стальные и железобетонные элементы. Основные возможности включают:
– создание трехмерных моделей любых типов конструкций, начиная от простых балок и заканчивая сложными каркасами;
– автоматизация процесса создания чертежей и спецификаций на основе созданной модели;
– подготовка производственных данных для автоматизированного оборудования, используемого при изготовлении металлоконструкций.

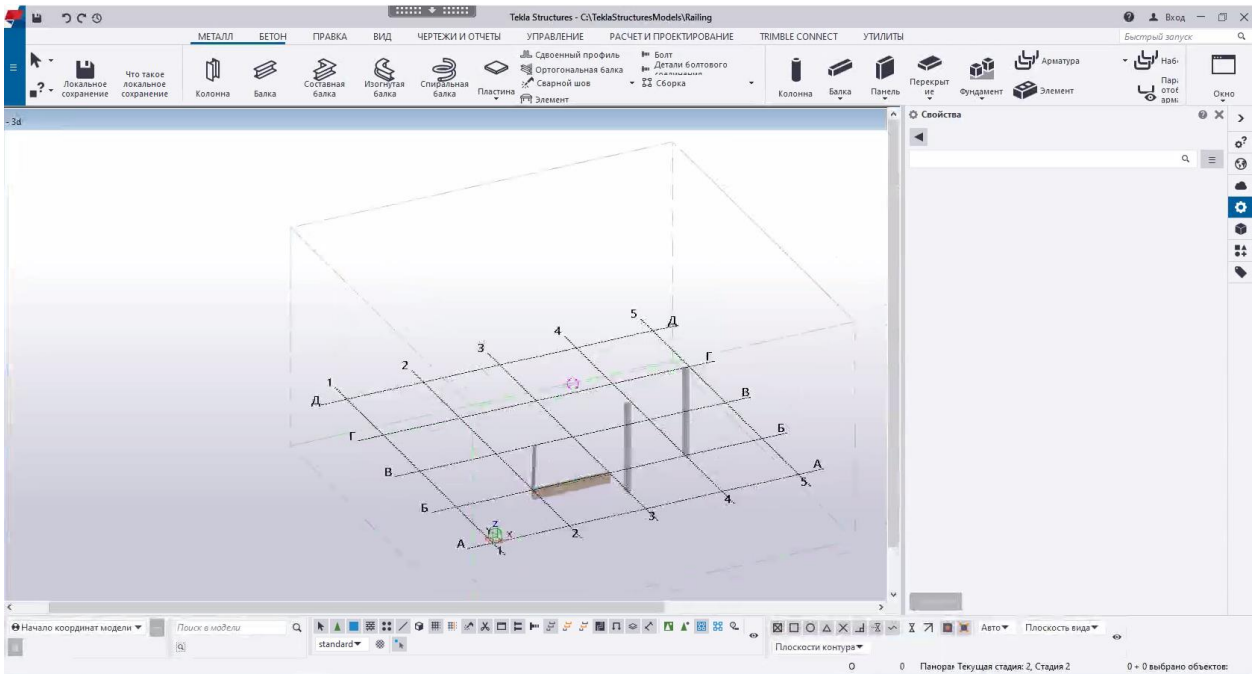


Рис. 2. Интерфейс Tekla Structures

Основными преимуществами Tekla Structures являются следующие:
– высокая точность моделирования, позволяющая минимизировать ошибки на этапе строительства;

– открытая платформа, поддерживающая интеграцию с другими BIM-программами и специализированным ПО;
– удобство работы с крупными проектами благодаря возможностям масштабируемости и многопользовательской среды;
– оптимизация производства и монтажа конструкций за счет автоматической генерации производственных данных.

Можно провести сравнение AVEVA и Tekla Structures. Хотя оба продукта относятся к категории программного обеспечения для проектирования и строительства, они имеют разные области применения:

– AVEVA – основное направление – проектирование крупных промышленных объектов и интеграция инженерных данных. Подходит для нефтегазовой отрасли, химической промышленности, энергетики и других отраслей, где требуется комплексное моделирование и управление проектом;
– Tekla Structures специализируется на создании моделей строительных конструкций и управлении производственными процессами в строительстве. Используется преимущественно в гражданском и промышленном строительстве, особенно там, где применяются металлические конструкции.

Таким образом, выбор между этими продуктами зависит от специфики проекта и требований к функционалу. Оба решения позволяют значительно повысить эффективность проектирования и снизить риски ошибок, обеспечивая высокое качество конечного результата.

Из отечественных производителей можно отметить Renga Software [5]. Renga Software, совместное предприятие компании АСКОН [6] и фирмы «1С» [7], занимается разработкой программных продуктов для проектирования зданий и сооружений в соответствии с технологией информационного моделирования (ТИМ / BIM – Building Information Modeling).

Учитывая последний опыт работы с иностранным ПО и мировую обстановку, необходимо разрабатывать собственную инструментальную базу САПР программ, которые будут нацелены на решение определенных задач. Будь то задачи строительного расчета, автоматического подбора сечений, генерации чертежей и т.п.

Чтобы явно понимать, какой продукт должен быть выпущен, необходимо определить основные требования к ПО. Эти требования должны быть базой для разработки эталонного отечественного ПО для САПР-проектирования. Требования можно разбить на группы.

К функциональным требованиям можно отнести следующие:

– 3D-моделирование. Возможность создания и редактирования трехмерных моделей строительных конструкций, включая металлические, железобетонные и деревянные элементы.
– Интеграция с BIM. Поддержка стандартов Building Information Modeling (BIM) для обмена данными с другими программными продуктами (например, Revit, AutoCAD, ArchiCAD).
– Автоматизация чертежей. Генерация чертежей и документации на основе 3D-модели, включая планы, разрезы, фасады и деталировки.
– Библиотека стандартных элементов: Наличие библиотеки стандартных строительных элементов (профили, болты, сварка, соединения и т.д.).
– Расчеты и анализ. Интеграция с расчетными модулями для анализа конструкций на прочность, устойчивость и другие параметры.
– Управление проектами: Возможность работы с крупными проектами, включая управление версиями, совместную работу и контроль изменений.
– Поддержка стандартов: Соответствие международным и национальным стандартам проектирования (например, СП, ГОСТ).
– Интерфейс пользователя. Интуитивно-понятный интерфейс с поддержкой кастомизации (настройка панелей инструментов, горячих клавиш и т.д.).

К техническим требованиям будут относиться следующие параметры:

– Платформа. Поддержка операционных систем Windows и Linux.
– Производительность. Оптимизация для работы с крупными моделями (тысячи элементов) без потери производительности.
– Интеграция с облачными сервисами. Возможность хранения данных в облаке и совместной работы в режиме реального времени.
– API и расширяемость. Наличие открытого API для разработки пользовательских плагинов и интеграции с другими системами.
– Поддержка оборудования. Совместимость с современным оборудованием (видеокарты, процессоры, много-мониторные системы).

Список используемых источников

1. EPC // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/EPC (дата обращения 07/02/2025).

2. AVEVA –Global Leader in Industrial Software // URL: https://www.aveva.com/ (дата обращения 07/02/2025).

3. Tekla – Ведущее ПО для строительства на основе моделей // URL: https://www.tekla.com/ru (дата обращения 07/02/2025).
4. trimble.com // URL: https://www.trimble.com/en (дата обращения 07/02/2025).
5. О компании Renga Software // URL: https://rengabim.com/about/ (дата обращения 07/02/2025).
6. О компании ASCON // URL: http://www.ascon.ru/ (дата обращения 07/02/2025).
7. О компании 1С // URL: https://1c.ru/ (дата обращения 07/02/2025).

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF DOMESTIC SOFTWARE FOR CAD DESIGN

Rakovsky O., Anshakov A.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Computer-aided design systems are widely used to solve production problems and have great innovative potential in various industries. At the same time, there are problems that developers of such systems experience when adapting them to international standards or a specific operating environment. Analysis of existing solutions allows using advanced technologies to improve the computer-aided design process.

Key words: *Software Engineering, C#, CAD, EPC, Digital Twin*

УДК 004
ГРНТИ 28.29.03

КОНФИГУРИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

О. В. Раковский, П. П. Бовшик

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

В стремительном темпе современной жизни человек постоянно сталкивается с необходимостью принимать бесчисленное множество решений, что создает огромную нагрузку на мозг и приводит к печальным последствиям, таким как стресс, депрессия, панические атаки и другие "болезни цивилизации". Системы поддержки принятия решений (СППР) являются одним из самых современных и эффективных инструментов для автоматизации процесса принятия решений, в том числе посредством сокращения роли человеческого фактора.

В рамках данной статьи будет рассмотрена автоматизация процесса принятия решений в задачах конфигурирования программно-аппаратных комплексов (ПАК) хранения и обработки информации с помощью метода анализа иерархий для конфигурирования аппаратной части серверов хранения данных с учетом специфических требований технического задания. Рассматриваемый подход поможет автоматизировать работу таких специалистов как системные инженеры и администраторы при разработке соответствующих ПАК.

система принятия решений, метод анализа иерархий, методы многокритериального выбора, конфигурирование программно-аппаратных комплексов

Как уже говорилось ранее [2], основной целью систем поддержки принятия решений [1] является автоматизация процесса принятия решений с помощью специализированных методов и инструментов, которые помогают им анализировать данные, оценивать альтернативы и принимать обоснованные решения. В рамках данной работы будет рассмотрен процесс принятия решений в задачах конфигурирования программно-аппаратных комплексов хранения и обработки информации для автоматизации работы таких специалистов как системные инженеры и администраторы при разработке соответствующих ПАК.

Этот процесс в общем виде содержит следующие этапы [2]:

1. Определение требований к ПАК согласно ТЗ;
2. Определение общих и числовых (по возможности) технических характеристик ПАК, удовлетворяющим требованиям ТЗ;
3. Подбор аппаратного и программного обеспечения, удовлетворяющего требуемым техническим характеристикам;

4. Утверждение подобранного обеспечения;

5. Поиск поставщиков, закупка и логистика подобранного оборудования и программного обеспечения;

6. Получение, монтаж и настройка ПАК.

Настоящая работа рассматривает первые три этапа, где третий этап, по сути, является задачей многокритериального выбора.

Задача многокритериального выбора

Задача многокритериального выбора [3, 4] – это задача принятия решения, в которой необходимо учитывать несколько критериев или целей одновременно. В отличие от однокритериальных задач, где есть только один критерий, в многокритериальных задачах каждый вариант решения оценивается по нескольким параметрам, которые могут быть противоречивыми или несоизмеримыми.

Основные элементы задачи многокритериального выбора:

– альтернативы (варианты решений): это возможные решения или варианты, из которых нужно выбрать наилучший;
– критерии (цели): это параметры, по которым оцениваются альтернативы;
– оценки альтернатив по критериям: каждая альтернатива получает оценку по каждому критерию;
– отношение предпочтения: это правило, которое определяет, какая альтернатива предпочтительнее другой с учетом всех критериев;

Основные проблемы в многокритериальном выборе:

– противоречивость критериев;
– несоизмеримость критериев;
– компромиссы: выбор одной альтернативы может означать отказ от другой, которая лучше по другим критериям.

Методы решения задач многокритериального выбора:

– методы свертки критериев [4, 5]: подходы к принятию решений, которые объединяют несколько критериев в один общий критерий;
– методы пороговых значений [6];
– методы доминирования [7];
– методы парето-оптимальности [8]: парето-оптимальные решения – это такие решения, которые не могут быть улучшены по одному критерию без ухудшения по второму;
– методы экспертных оценок [9]: подходы к принятию решений, которые основываются на мнении экспертов для оценки альтернатив и определения весов критериев.

Методы экспертных оценок

Так как процесс конфигурирования любого программно-аппаратного комплекса подразумевает участие системного инженера или администратора, то есть эксперта, можно рассмотреть решение задачи многокритериального выбора с помощью методов экспертных оценок [9].

Экспертное оценивание – процедура получения оценки проблемы на основе мнения специалистов (экспертов) с целью последующего принятия решения (выбора).

Под методами экспертных оценок понимают методы разработки управленческого решения с привлечением специалистов-экспертов и анализа мнений названных специалистов. В данном методе мнения экспертов выражается либо в количественной, либо в качественной форме.

Если управленческое решение не может быть разработано на базе точных расчетов, применяют экспертные методы.

К методам оценивания относят:

1. Ранжирование – это расположение объектов в порядке возрастания или убывания какого-либо присущего им свойства.

2. Парное сравнение [10] – это установление предпочтения объектов при сравнении всех возможных пар.

3. Непосредственная оценка. Использование бальной системы оценивания для определения также значимости каждого критерия, а не только их упорядочивание.

Для анализа результатов экспертных оценок также используется ряд методов:

– метод дельфи [9]: итеративный метод, в котором эксперты анонимно дают свои оценки, а затем обсуждают результаты и корректируют свои оценки на основе мнений других экспертов;
– метод анализа иерархий (AHP) [11]: используется для структурирования проблемы в виде иерархии и попарного сравнения критериев и альтернатив;
– метод мозгового штурма [9]: группа экспертов генерирует идеи и решения в режиме свободного обмена мнениями.

Метод анализа иерархий

Метод анализа иерархий (Метод Саати) – это систематическая методика для структурирования сложных решений, которая позволяет принимать решения с учетом множества критериев и альтернатив.

Метод Саати является таким универсальным по причине того, что МАИ включает в себя не только математические, но и психологические аспекты исследуемой проблемы. Он помогает наглядно и просто представить сложную проблему в виде иерархии простых шагов, сравнить варианты между собой и каждому из них присвоить количественную оценку.

Метод анализа иерархий Саати проводится по следующему алгоритму:
– структурирование проблемы выбора в виде иерархии или сети;
– установка приоритетов критериев и оценка каждой из альтернатив по критериям;
– определение коэффициентов важности для элементов каждого уровня;
– подсчет комбинированного весового коэффициента и определение наилучшей альтернативы.

Для решения поставленной слабоструктурированной многокритериальной задачи подходит метод анализа иерархий. Данный метод позволит: учитывать несколько критериев оценивания и выбора, определить приоритеты критериев сравнения и вычислить альтернативное решение с максимальным значением приоритета, а также осуществить выбор только с одним экспертом.

Выбор МАИ для решения поставленной задачи также обусловлен тем, что большинство других методов требуют в дальнейшем применения дополнительных методов, так как [12]:
– не учитывают цели;
– не содержат ранжирование альтернатив (Методы пороговых значений);
– не имеют согласованности оценок (Методы свертки критериев);
– исключают возможно неподходящие альтернативы на моменте отбора (методов Парето-оптимальности);
– обладают недостаточной точностью;
– не учитывают компромиссы между критериями;
– не позволяют учитывать относительную важность критериев (Методы свертки критериев, Методы доминирования, Методы пороговых значений)

Определение требований и технических характеристик ПАК

Конфигурирование любого ПАК начинается с изучения представленных к нему технических требований исходя из технического задания. Результатом этого изучения служит определение основных аппаратных и программных групп компонентов (возможных решений ПАК), критерий их оценивания, а также их минимальных требуемых технических характеристик.

В рамках данной статьи рассматривается конфигурирование только аппаратной части комплекса, хотя методы применимы и для программной.

Для определения основных групп аппаратных компонентов комплекса (возможных решений ПАК) и их критериев оценивания необходимо в первую очередь отталкиваться от назначения самого ПАК, то есть определить, какую задачу будет выполнять этот комплекс, например, обработка мультимедийного трафика в режиме реального времени, долгосрочное хранение больших объемом данных с регулярным резервным копированием и т.д. Эта задача определяется в техническом задании и интерпретируется специалистом (системным инженером) в более «технический язык». В рамках данной работы будет рассматриваться задача долгосрочного хранения данных. В качестве примера основных групп аппаратных компонентов комплекса: серверная материнская плата, центральный процессор, аппаратный дисковый контроллер и т.д.

С помощью метода парного сравнения можно из общего списка критериев оценивания, как самого ПАК, так и его компонентов, выявить необходимые именно в рассматриваемом случае.

Аналогичным образом можно определить критерии для оценивания выявленных ранее групп аппаратных компонентов. В настоящем реферате с целью упрощения процесса демонстрации использования МАИ в рассматриваемой задаче автор предлагает сделать следующее допущение: пропустить шаги подбора критериев, пороговых значений и альтернативных решений для отдельных групп аппаратного обеспечения и перейти к обобщенным комплексным решениям (сформированным комплектам аппаратного обеспечения) ПАК, так как данные шаги аналогичны как для отдельных групп аппаратных компонентов, так и для полноценных комплектов аппаратного обеспечения ПАК.

Определив группы компонентов (возможных решений ПАК) и критерии их оценивания, необходимо определить минимальные технические требования исходя из технического задания или эмпирическим методом.

Используя минимальные технические требования и критерии оценивая аппаратных компонентов (возможных решений ПАК) необходимо провести отбор возможных компонентов ПАК (возможных решений ПАК), удовлетворяющих требованиям ТХ, с помощью метода пороговых значений.

Подбор аппаратного обеспечения

Как уже говорилось ранее, подбор решений для конфигурирования аппаратной части ПАК хранения данных осуществляется с помощью метода анализа иерархий [11].

Анализ проблемы принятия решений в МАИ начинается с построения иерархической структуры, которая включает цель, критерии и альтернативы. Цель: разработка конфигурации аппаратного комплекса хранения и обработки информации. Критерии оценивания, как и возможные альтернативные решения, были определены в предыдущей главе.

Следующим этапом анализа является определение приоритетов, представляющих относительную важность или предпочтительность элементов построенной иерархической структуры, с помощью процедуры парных сравнений. Безразмерные приоритеты позволяют обоснованно сравнивать разнородные факторы, что является отличительной особенностью МАИ. Чем больше величина приоритета, тем более значимым является соответствующий ему элемент. По определению нормализованный вектор приоритетов должен быть равен единице.

Использование метода анализа иерархий завершается выполнением «линейной свертки» (т.е. синтеза, объединения) приоритетов на иерархии. Вслед за этим, вычисляются приоритеты альтернативных решений главной цели. Лучшим считается тот альтернативный вариант решения, который в итоге получил максимальное значение приоритета.

Заключение

Исходя из изученной литературы можно сделать вывод, что существует большое количество методов для решения задач многокритериального выбора. Метод, представленный в данном реферате, демонстрирует возможность адаптации метода анализа иерархий для автоматизации процесса конфигурирования аппаратной части ПАК хранения и обработки данных.

В качестве продолжения работы планируется рассмотреть возможность использования интеллектуальных методов для упрощения процесса определения требований к ПАК согласно ТЗ: основных аппаратных и программных групп компонентов, критерий их оценивания, а также их минимальных требуемых технических характеристик.

Список используемых источников

1. Шагарова И. Х. Обзор существующих систем поддержки принятия решения // Современные проблемы научной деятельности. перспективы внедрения инновационных решений: сборник статей Международной научно-практической конференции, Челябинск, 10 июня 2019 года. Челябинск: ООО «Аэтерна», 2019. С. 53–55.

2. Бовшик П. П. Автоматизация процесса принятия решений в задачах конфигурирования программно-аппаратных комплексов хранения и обработки информации // АПИНО 2024: Материалы XIII Международной научно-технической и научно-методи-

ческой конференции Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2024. С. 128-132.

2. Богданова П. А., Сахаров Д. М., Васильева Т. В. Обзор методов многокритериальной оптимизации в задачах принятия решений // Инновационные аспекты развития науки и техники. 2021. № 6.

4. Гривачев А. В., Сазонов С. Ю. Сравнительный анализ подходов и методов многокритериального выбора сложных мобильных систем. Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 5 (68).

5. Park J. D. et al. Criteria tell you more than ratings: Criteria preference-aware light graph convolution for effective multi-criteria recommendation //Proceedings of the 29th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2023. С. 1808-1819.

6. Глинский В. В. Об оценке пороговых значений в решении задачи классификации данных. Вопросы статистики, 12/2014.

7. Błaszczyński J., Greco S., Słowiński R. Multi-criteria classification–a new scheme for application of dominance-based decision rules //European Journal of Operational Research. – 2007. Т. 181. № 3. С. 1030-1044.

8. Wang Z., Rangaiah G. P. Application and analysis of methods for selecting an optimal solution from the Pareto-optimal front obtained by multiobjective optimization // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2017. Т. 56. № 2. С. 560–574.

9. Данелян Т. Я. Формальные методы экспертных оценок // Статистика и экономика. 2015. № 1.

10. Земцов А. Н., Болгов Н. В., Божко С. Н. Многокритериальный выбор оптимальной системы управления базы данных с помощью метода анализа иерархий // ИВД. 2014. № 2.

11. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

12. Коробов В. Б., Тутыгин А. Г. Преимущества и недостатки метода анализа иерархий // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2010. № 122.

CONFIGURING A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR STORING AND PROCESSING INFORMATION BASED ON THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD

Rakovsky O., Bovshik P.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In the rapid pace of modern life, people are constantly faced with the need to make countless decisions, which creates a huge burden on the brain and leads to sad consequences such as stress, depression, panic attacks and other "diseases of civilization." Decision support systems (DSS) are one of the most modern and effective tools for automating the decision-making process, including by reducing the role of the human factor.
This article will consider the automation of the decision-making process in the tasks of configuring software and hardware systems (packages) for storing and processing information using the hierarchy analysis method for configuring the hardware of data storage servers, taking into account the specific requirements of the technical specification. This approach will help automate the work of specialists such as system engineers and administrators when developing appropriate packages.

Key words*: decision-making system, hierarchy analysis method, multi-criteria selection methods, configuration of software and hardware complexes.*

УДК 517.977.1
ГРНТИ 50.03.03

СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ СТРУКТУРАМИ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

О. В. Раковский, Т. В. Матюхина

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Системы автоматического управления с обратной связью могут быть применены во многих областях. При этом они могут включать в свой состав такой важный инструмент для обработки вербальной информации и использования механизмов нечеткой логики, как искусственный интеллект. Это существенно расширяет границы сферы применения таких систем. Например, в области медицинской диагностики интеллектуальность обратной связи позволяет улучшить точность и эффективность диагностики заболеваний, а также способствует более персонализированному подходу к лечению пациентов.

методы лечения, теория управления, принцип обратной связи, нейронная сеть, экспертная система

Системы управления с обратной связью (ОС) применяются во многих сферах человеческой деятельности. Зачастую такое применение бывает не столь очевидно, поскольку используется на интуитивном уровне специалистами в своей профессиональной области, не имеющей непосредственного отношения к задачам управления.

Так, например, медицинская диагностика является ключевым этапом в процессе лечения, определяющим выбор методов терапии и прогнозирование исхода заболевания. Принцип обратной связи, основанный на сборе и анализе данных о состоянии пациента, позволяет врачам более точно оценивать здоровье и адаптировать лечение в реальном времени.

Обратная связь в медицинской диагностике включает в себя следующие этапы:

– сбор данных. Использование различных методов, таких как анализ крови, визуализирующие технологии (УЗИ, МРТ, КТ) и мониторинг жизненных показателей (пульс, давление);
– анализ данных. Применение алгоритмов и моделей для интерпретации собранной информации. Это может включать машинное обучение и искусственный интеллект, которые помогают выявлять паттерны и аномалии;

– корректировка лечения. На основе анализа данных врачи могут изменять подход к лечению, адаптируя его к индивидуальным потребностям пациента.

Подобный принцип обратной связи находит применение в различных областях медицины:

– кардиология – мониторинг сердечного ритма и давления с помощью носимых устройств позволяет врачам своевременно реагировать на изменения состояния пациента;
– эндокринология – использование глюкометров и систем непрерывного мониторинга глюкозы помогает пациентам с диабетом поддерживать оптимальный уровень сахара в крови;
– психиатрия – анализ данных о поведении и состоянии пациента с использованием мобильных приложений и онлайн-платформ позволяет адаптировать терапию в реальном времени.

Использование принципа обратной связи в медицинской диагностике предоставляет ряд значительных преимуществ:

– увеличение точности диагностики. Быстрая и точная интерпретация данных позволяет выявлять заболевания на ранних стадиях.
– персонализированный подход. Возможность адаптации лечения в зависимости от индивидуальных особенностей пациента.
– снижение нагрузки на медицинский персонал. Автоматизация процессов диагностики и мониторинга освобождает время врачей для более сложных задач.

Несмотря на очевидные преимущества, применение обратной связи в медицинской диагностике сталкивается с рядом вызовов:

– конфиденциальность данных. Сбор и хранение медицинской информации требуют строгого соблюдения норм безопасности и защиты персональных данных;
– технические ограничения. Необходимость в высококачественном оборудовании и программном обеспечении может ограничивать доступ к технологиям;
– необходимость в обучении. Врачи и медицинский персонал должны быть готовы к использованию новых технологий и методов анализа данных.

Если применить логику управления систем с ОС, то можно выделить объект управления, выходная координата которого определяется и выполняется ее сравнение с необходимым значением. Полученная разность преобразовывается, чтобы ее использовать для внесения нужных корректировок на входе объекта, с целью компенсации расхождения.

При этом в такой схеме могут использоваться системы принятия решений [1-2], а, соответственно, и системы искусственного интеллекта. Тем не менее, определение места искусственного интеллекта в структурах с ОС пока представляет оду из актуальных задач.

Обозначим структуру без стабилизирующей ОС как R_1 (рис. 1).

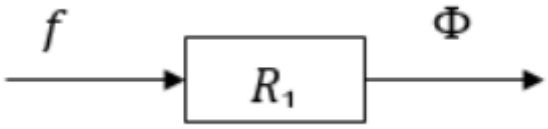


Рис. 1. Блок структуры R_1

В рассматриваемом нами примере в роли объекта управления или блока может выступать пациент. На него оказывается некоторое медикаментозное воздействие *f*. После этого проводится функциональная диагностика и берутся анализы. Таким образом определяется результат воздействия Ф.

С целью контроля процесса лечения и его корректировки введем ОС, которую обозначим блоком $R_{\text{ос}}$. Теперь можно совокупность блоков управления с ОС заменить одним блоком с оператором *R* (рис. 2).

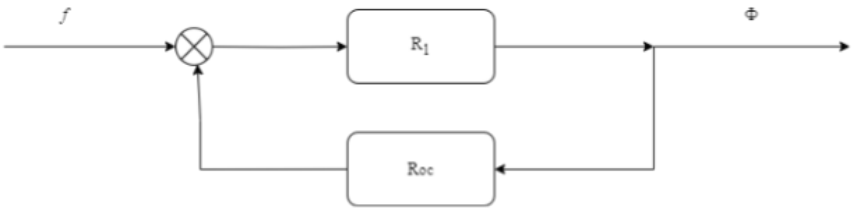


Рис. 2. Структурная схема R

Соотношение блоков позволяет в новой структурной схеме связать операторы блоков R_1, $R_{\text{ос}}$ и R следующим образом:

$$R = (R_1)/((1\text{-}R_1\, R_{\text{ос}})) = ((1\text{-}R_1\, R_{\text{ос}}))^{-1}\, R_1 \Leftrightarrow R = R_1 \circ R_{\text{ос}}$$

Можно заметить сходство между схемой лечения пациента (рис. 3) и системой управления с ОС.

Рис. 3. Структурная схема медикаментозного лечения пациента

Следовательно, математический аппарат теории управления можно применить и для данного процесса. Можно сделать вывод, что нам удалось связать классический метод лечения с математическим аппаратом, описывающим систему управления с ОС [3-4].

Принцип обратной связи представляет собой мощный инструмент в области медицинской диагностики, способный улучшить качество лечения и повысить эффективность работы медицинских учреждений. Однако для успешной реализации этих технологий необходимо учитывать как преимущества, так и потенциальные риски. Будущее медицинской диагностики, вероятно, будет связано с дальнейшим развитием технологий обратной связи и интеграцией их в повседневную практику.

Список используемых источников

1. Золотов О. И., Пустыльников Л. М., Даринский Ю. В., Фейгин О. О. От управления состоянием к управлению структурой. СПб.: СПбГУТ, 2019.

2. Золотов О. И., Пустыльников Л. М. Теория управления и сохранение структур. СПб.: СЗТУ, 2011.

3. Золотов О. И., Матюхина Т. В., Раковский О. В. Использование принципа обратной связи в управлении структурами // Актуальны проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 2. 997 с. С. 663-666.

4. Золотов О. И., Матюхина Т. В., Раковский О. В. О роли искусственного интеллекта в системах принятия решения, применительно к управлению структурами с обратной связью // Актуальны проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2024. Т. 2. 636 с. С. 318-321.

DECISION-MAKING SYSTEMS IN THE CONTROL OF FEEDBACK STRUCTURES

Rakovskii O., Matyukhina T.,
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

Automatic feedback control systems can be used in many areas. At the same time, they can include such an important tool for processing verbal information and using fuzzy logic mechanisms as artificial intelligence. This significantly expands the scope of application of such systems. For example, in the field of medical diagnostics, the intelligence of feedback improves the accuracy and efficiency of disease diagnosis, and also contributes to a more personalized approach to patient treatment.

Key words: *treatment methods, control theory, feedback principle, neural network, expert system*

УДК 004.02
ГРНТИ 50.41.23

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОБЪЕКТА ИНФОРМАТИЗАЦИИ

Д. В. Сахаров, А. У. Паскенова

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, структурное подразделение Санкт-Петербургский колледж телекоммуникаций им. Э. Т. Кренкеля

В данной работе представлена модель комплексной защиты информации объектов информатизации, включающая технические, организационные и физические меры, а также адаптивные стратегии. Модель направлена на обеспечение безопасности данных в условиях динамических угроз и поддерживает многоуровневую защиту корпоративной информации. Представлены основные компоненты модели и их взаимодействие, а также гипотетический пример реализации модели в центре обработки данных. Новизна данной работы заключается в интеграции адаптивных стратегий для реагирования на динамичные угрозы в киберпространстве, в применении комбинации технологий, включая DLP и SIEM системы, адаптивные аутентификационные механизмы и шифрование.

объект информатизации, управление доступом, безопасность данных, адаптивные стратегии, защита сетевой инфраструктуры

В условиях стремительного развития информационных технологий, все более актуальными становятся вопросы безопасности информационных систем. По данным аналитического отчета экспертно-аналитического центра InfoWatch за первое полугодие 2024 года количество утечек информации в России выросло на 10 процентов, в результате одного инцидента утекает 2,38 млн записей персональных данных [1]. В основном доли утечек информации выросли на объектах информатизации сфер промышленности и торговли, носят умышленный характер. Уязвимость этих объектов перед несанкционированным доступом, вирусными атаками, утечками информации, кибершпионажем и физическим воздействием на оборудование ставит под угрозу как конфиденциальность, так и целостность данных. Потребность в разработке системы комплексной защиты возникает из-за недостаточной способности традиционных методов безопасности, таких как антивирусные приложения и межсетевые экраны, обеспечить надежную защиту информационных объектов от современных угроз. Киберпреступники применяют все более изощренные и сложные техники и методы для достижения своих

целей, что создает необходимость реализации интегрированного подхода, который охватывает не только технические, но и организационные, а также физические меры безопасности.

Процесс комплексной защиты информации объекта информатизации (далее – ОИ) направлен на обеспечение целостности, конфиденциальности и доступности информационных ресурсов, а также на противодействие актуальным угрозам (включая несанкционированный доступ, вредоносный код, утечки данных и отказ в обслуживании). Разрабатываемая модель предполагает создание многоуровневой системы безопасности с применением современных технических и организационных методов, средств мониторинга и контроля, а также механизмов регулярного аудита и совершенствования [2, 3].

Ниже представлена табличная форма структуры модели комплексной защиты информации объекта информатизации. В таблице 1 по строкам перечислены основные компоненты комплексной защиты, а по столбцам – ключевые направления и примеры решений.

ТАБЛИЦА 1. Структура модели комплексной защиты информации объекта информатизации

Компонент модели	Ключевые меры и направления	Пример решений и технологий	Компонент модели
Организационно-управленческие меры Технические меры защиты периметра и сети	Политики и регламенты ИБ Ответственность и роли Обучение персонала и повышение осведомленности	Политика ИБ на уровне руководства Инструкции по безопасной работе Системы eLearning (Moodle, Kaspersky Security Awareness)	Организационно-управленческие меры
	Межсетевые экраны (FW) Системы обнаружения/предотвращения вторжений (IDS/IPS) Сегментация сети и VPN	Cisco ASA, Check Point FW, FortiGate Snort IDS/IPS, Cisco Secure IPS IPSec, SSL VPN (OpenVPN, Palo Alto GlobalProtect)	Технические меры защиты периметра и сети

Компонент модели	Ключевые меры и направления	Пример решений и технологий	Компонент модели
Защита серверов, рабочих станций и приложений Защита данных и управление доступом	Антивирус, EDR HIPS WAF для веб-приложений Сканирование /уязвимостей	Kaspersky Endpoint Security, Symantec EP, CrowdStrike Falcon OSSEC, Tripwire HIPS Imperva WAF, F5 Advanced WAF, ModSecurity Nessus, QualysGuard, Nexpose	Защита серверов, рабочих станций и приложений
	Шифрование данных Централизованная аутентификация и авторизация (AD, LDAP, PKI) DLP-системы	AES-256, ГОСТ Р 34.10-2012, BitLocker, LUKS Active Directory, Kerberos, смарт-карты, токены eToken, Symantec DLP, Forcepoint DLP	Защита данных и управление доступом

Представленная табличная структура демонстрирует комплексный, многоуровневый подход к защите информации на объекте информатизации. Каждый элемент – от организационно-управленческих мер и технических инструментов до регулярных аудитов и планов обеспечения непрерывности – играет важную роль в создании целостной системы информационной безопасности, что также показано на рисунке 1. Взаимосвязь всех компонентов обеспечивает стабильность, устойчивость к современным угрозам и способность к оперативному реагированию на инциденты. Такая модель позволяет гибко адаптироваться к меняющейся среде, обеспечивая сохранность и защищенность чувствительных данных, инфраструктуры и приложений [4–6].

Рис. 1. Модель комплексной безопасности

Рассмотрим практический пример реализации комплексной модели на предприятии среднего размера (около 300 сотрудников), включающем центральный офис и несколько удаленных филиалов. Организация использует локальную корпоративную сеть с серверами, на которых размещены внутренние веб-приложения для управления производственными и административными процессами, а также файловые хранилища с конфиденциальной информацией о клиентах и партнерах.

Организационно-управленческие меры. Руководством компании утверждена корпоративная политика информационной безопасности, регламентирующая порядок обращения с конфиденциальными сведениями, правила выбора и смены паролей, использование криптосредств и требования к защите мобильных устройств. Сотрудники регулярно проходят обучение безопасному поведению в цифровой среде, включая тестирование знаний о противодействии фишингу и социальной инженерии. Все положения закреплены в инструкциях, доступных в корпоративном портале.

Технические меры защиты периметра и сетей. На границе сети центрального офиса установлен межсетевой экран Cisco ASA, настроенный на фильтрацию внешнего трафика. Для предотвращения распространенных сетевых атак интегрирована система обнаружения/предотвращения вторжений Snort IDS/IPS. Подключение удаленных филиалов и мобильных сотрудников к корпоративной сети организовано посредством шифрованных VPN-

туннелей (Fortinet SSL VPN), обеспечивающих безопасный доступ к внутренним ресурсам.

Защита серверов, рабочих станций и приложений. На всех серверах и рабочих станциях развернуто антивирусное решение Kaspersky Endpoint Security в связке с системой EDR (CrowdStrike Falcon), обеспечивающей поведенческий анализ, обнаружение и реагирование на инциденты на конечных точках. Внутренний веб-портал управления производством защищен веб-аппликейшен файерволом (Imperva WAF), что позволяет блокировать попытки SQL-инъекций и другие типичные атаки на приложения. Для постоянного контроля уязвимостей используются сканеры (Tenable Nessus), регулярно запускаемые для выявления и устранения проблемных мест [7, 8].

Защита данных и управление доступом. Конфиденциальные файлы, хранящиеся на сетевых хранилищах, зашифрованы с применением стойких криптоалгоритмов (AES-256, а при необходимости – соответствие ГОСТ-стандартам). Доступ к критичным системам регулируется посредством централизованной аутентификации через Active Directory с двухфакторной авторизацией при помощи аппаратных токенов (например, eToken) или TOTP-генераторов (Google Authenticator). Чтобы предотвратить утечки данных, внедрена DLP-система Forcepoint, отслеживающая отправку конфиденциальных сведений по электронной почте или копирование на внешние носители.

Мониторинг, анализ и реагирование. Все события безопасности собираются и анализируются в SIEM-платформе Splunk Enterprise Security. Логи от межсетевых экранов, IDS/IPS, антивирусов, WAF и серверных ОС стекаются в единый центр, где происходят корреляция и выявление аномалий. Специалисты корпоративного SOC или аутсорсингового центра информационной безопасности непрерывно мониторят инциденты, оперативно реагируют на тревожные сигналы, проводят расследования и формируют рекомендации по улучшению мер защиты [9].

Физическая защита. В помещениях серверной предусмотрены системы контроля и управления доступом (СКУД) с идентификацией по бесконтактным картам и видеонаблюдением (камеры Axis). Серверное оборудование защищено системами бесперебойного питания (UPS APC) и климат-контроля. Для предотвращения аварийных ситуаций применяются системы автоматического газового пожаротушения, а сама серверная комната имеет ограниченный список допущенного персонала.

Аудит и совершенствование. Не реже одного раза в год проводится аудит информационной безопасности сторонними специалистами, сравнение текущей практики с требованиями международных стандартов (ISO/IEC 27001) и локальных нормативов. Выводы аудиторов используются для обновления политики ИБ, актуализации модели угроз и совершенствования технических, организационных и программных мер защиты. План непрерывности бизнеса (BCP) и план восстановления после инцидентов (DRP) регулярно пересматриваются и тестируются, чтобы гарантировать быстрое восстановление критичных сервисов в случае сбоев или успешных кибератак [10].

Таким образом, данный пример реализации комплексной модели защиты информации иллюстрирует тесную взаимосвязь организационных, технических и технологических мер. Круглосуточный мониторинг, регулярный аудит, сквозной контроль доступа и своевременная реакция на инциденты формируют основу для поддержания устойчивого уровня информационной безопасности в условиях динамически развивающегося киберпространства.

Список используемых источников

1. Экспертно-аналитический центр InfoWatch. Утечки информации в Мире и России за первое полугодие 2024 года: URL:https://www.infowatch.ru/sites/default/files/analytics/files/utechki-informatsii-v-mire-i-rossii-za-pervoye-polugodiye-dve-tysyachi-dvadtsat-chetvertogo-goda.pdf. (дата обращения 22.01.2025).

2. Сокол В. Е., Ушаков И. А., Красов А. В., Черепанов С. В. Основы сетевых технологий // Учебник / Том Часть 1. Санкт-Петербург, 2023.

3. Никитин В. Н., Лагутенко О. И., Ковцур М. М. Обеспечение информационной безопасности ИТС // Электросвязь. 2014. № 1. С. 29-31.

4. Миняев А. А., Красов А. В. Методика оценки эффективности системы защиты информации территориально-распределенных информационных систем // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 3. С. 26-32.

5. Ковцур М. М., Сахаров Д. В., Бирих Э. В., Дрепа В. Е. Метод обнаружения wlan точек доступа нарушителя в распределенной ИСПДН // Электросвязь. 2024. № 12-2. С. 60-69.

6. Горбань С. А., Красов А. В., Цветков А. Ю. Оценка эффективности механизмов контроля правами доступа в ОС Linux // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 345-348.

7. Сахаров Д. В., Ковцур М. М., Бахтин Д. В. Модель защиты от эксплойтов и руткитов с последующим анализом и оценкой инцидентов // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 5. С. 22-31.

8. Махмутова Н. Ф., Бирих Э. В., Сахаров Д. В., Кривец А. С., Дегтярев М. А. Исследование способов повышения безопасности корпоративных сетей // Вестник Даге-

станского государственного технического университета. Технические науки. 2024. Т. 51. № 3. С. 110-116.

9. Исаченков П. А., Красов А. В., Левин М. В. Исследование эффективности метода управления потоками трафика на основе информации о нагрузке в программно-определяемой сети с неравными метриками маршрутов // Современная наука и инновации. 2017. № 2 (18). С. 32-38.

10. Kovtsur M., Minyaev A., Khramtsov D., Abramenko G. Investigation of attacks and methods of protection of wireless networks during authorization using the ieee 802.1x protocol // В сборнике: ACM International Conference Proceeding Series. 5, The Premier Conference on Smart Next Generation Networking Technologies. Сер. "ICFNDS 2021 - 5th International Conference on Future Networks and Distributed Systems: The Premier Conference on Smart Next Generation Networking Technologies". 2021. С. 555-561.

THE MODEL OF COMPLEX INFORMATION PROTECTION OF THE INFORMATIZATION OBJECT

Paskenova A., Sakharov D.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications
The Krenkel Saint Petersburg College of Telecommunications

The article presents a model of comprehensive information protection for information objects, including technical, organizational and physical measures, as well as adaptive strategies. The model is aimed at ensuring data security in the face of dynamic threats and supports multi-level protection of corporate information. The main components of the model and their interaction are given, as well as a hypothetical example of the implementation of the model in a data center (data center). The novelty of this work lies in the integration of adaptive strategies to respond to dynamic threats in cyberspace, using a combination of technologies, including DLP and SIEM systems, adaptive authentication mechanisms and encryption.

Key words: *object of informatization, access control, data security, adaptive strategies, protection of network infrastructure*

УДК 331.445
ГРНТИ 20.19.21

АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЯ ПРОРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Г. Н. Смородин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Показана возможность использования экспертно-аналитического подхода для анализа трендов в области инноваций. Представлены результаты сравнительного анализа инновационных трендов в областях информационных технологий и искусственного интеллекта применительно к проектной деятельности.

проектная деятельность, информационные технологии, искусственный интеллект, экспертно-аналитический подход

Основные тренды в области инновационного развития экономики конечно же находятся в фокусе аналитических исследований. В области информационных технологий (ИТ) и искусственного интеллекта (ИИ) лидером аналитики можно назвать компанию Gartner Group, носящую имя своего создателя. В исследовании, опубликованном в августе 2024 года [1], Gartner Group в очередной раз представила свою «фирменную» формализацию – цикл хайпа (Hype Cycle) – расположение на модифицированной временной оси фаз зрелости 25-ти прорывных технологий, объединенных в четыре ключевые области. Название данных четырех областей приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Ключевые области, объединяющие 25 прорывных технологий

Название на английском языке	Вариант перевода на русский язык
Autonomous AI	Автономный искусственный интеллект
Boost Developer Productivity	Ускорение производительности разработчиков
Empower With Total Experience	Расширение возможностей с помощью полного опыта
Deliver Human-Centric Security and Privacy	Ориентированные на человека программы безопасности и конфиденциальности

Целью данного исследования является проведение сравнительного анализа данных четырех областей на предмет выявления их связи с проектной деятельностью. Количественная оценка такой связи показывает, насколько указанные области (а, следовательно, и входящие в них прорывные технологии) являются проектно-ориентированными. Так же, рассматривая проектную деятельность в области ИТ и ИИ, можно оценить ассоциацию ключевых областей с проектами в информационных технологиях и искусственном интеллекте.

В качестве методологии исследования выбран экспертно-аналитический подход, когда данные, полученные на основе экспертных оценок [1, 2], проходят аналитическую обработку, что позволяет перейти к количественным оценкам и, возможно, даже повысить объективность экспертных оценок.

В качестве аналитического воздействия был проведен поиск в онлайн базе научных источников, которая носит название Google Scholar (Гугл Академия). Поиск в данном ресурсе позволяет «отстроиться» от маркетингового шума, а также получить численные данные – количество источников, ассоциированных с анализируемым термином. Учитывая неоднозначность интерпретации инновационных англоязычных словарных конструкций на русском языке, для проведения исследования использовалась англоязычная терминология.

Анализировались результаты поисковых запросов по каждой из категорий (см. таблицу 2) с добавлением слов, отражающих принадлежность к проектной деятельности (в данном случае слово Projects), к проектной деятельности в области информационных технологий (соответственно – IT projects) и проектной деятельности в области искусственного интеллекта (AI projects). В проектном менеджменте антонимом к проектам являются процессы, поэтому для противопоставления ассоциации ключевых областей с проектами было использовано понятие процессов (Processes).

ТАБЛИЦА 2. Результаты поисковых запросов в тысячах единиц

Ключевые области	Processes	Projects	IT projects	AI projects
Autonomous AI	3690	1690	1650	1660
Boost Developer Productivity	515	452	431	79
Empower With Total Experience	9020	7920	7910	3040
Deliver Human-Centric Security and Privacy	38	26	26	22

Анализ полученных данных позволят утверждать, что научные публикации в области прорывных технологий на время проведения исследований (март 2025 года) более тесно связаны с процессной деятельностью нежели чем с проектной (рис. 1).

Наибольшая различие между процессным и проектным «притяжением» проявляется в ключевой области Autonomous AI – Автономного искусственного интеллекта – 37,17 процентных пунктов, наименьшая разность – 6,49 п.п. наблюдается в ключевой области Empower With Total Experience – Расширение возможностей с помощью полного опыта.

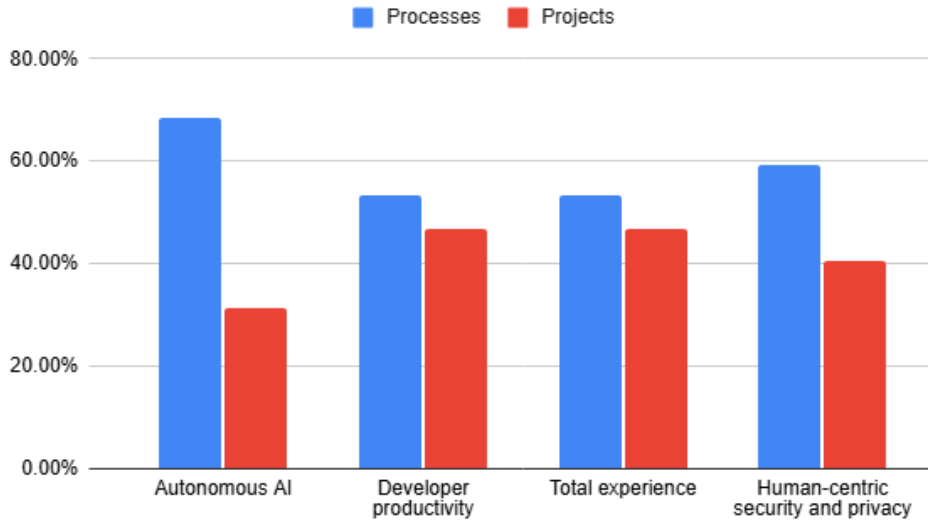


Рис. 1. Соотношение процессной и проектной направленности ключевых областей

Присутствует значительная неравномерность между количеством статей, ассоциированных с той либо иной ключевой областью – от менее одного процента (Deliver Human-Centric Security and Privacy – Ориентированные на человека программы безопасности и конфиденциальности) до 68 % (Empower With Total Experience – Расширение возможностей с помощью полного опыта).

Проектная деятельность в ИТ-проектах представлена более значительно по сравнению с аналогичной деятельностью в ИИ-проектах (таблица 3, рис. 2) за исключением ключевой области Autonomous AI – Автономного искусственного интеллекта, где оба вида деятельности представлены на одном уровне. Сопоставление результатов запросов по данной ключевой области (Projects, IT Projects, AI Projects) позволяет отметить взаимопроникновение рассматриваемых компонентов – если это проекты, то это ИТ-проекты и в тоже время ИИ-проекты.

Наиболее выражена ИИ-проектная составляющая по сравнению с ИТ-проектной в ключевой области Boost Developer Productivity – Ускорение производительности разработчиков.

Таблица 3 – Результаты поисковых запросов в процентном отношении

Ключевые области	Processes, %	Project, %	IT projects, %	AI projects, %
Autonomous AI	27.82	16.75	16.47	34.58
Boost Developer Productivity	3.88	4.48	4.30	1.65
Empower With Total Experience	68.01	78.51	78.97	63.32
Deliver Human-Centric Security and Privacy	0.29	0.26	0.26	0.46

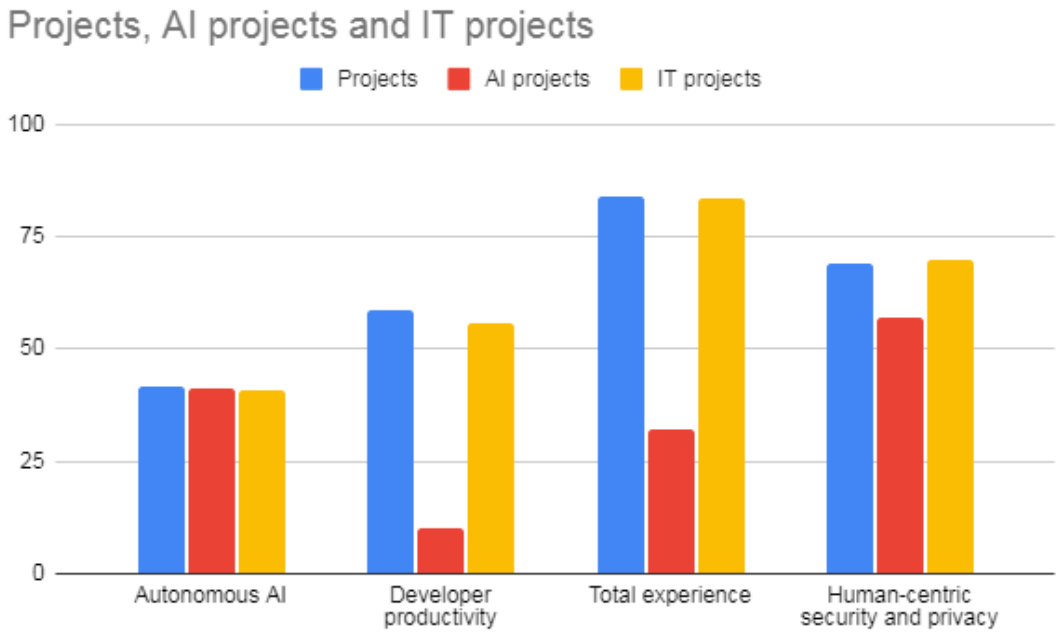


Рис. 2. Процентное соотношение проектов в ИТ и ИИ

Подводя итоги, можно утверждать, что поиск в базе научных источников Google Scholar позволяет выявить связь ключевых областей инновационных технологий с проектной деятельностью. Так же данная связь может быть ассоциирована с проектами в области информационных технологий и области искусственного интеллекта.

Список используемых источников

1. Gartner 2024 Hype Cycle for Emerging Technologies Highlights Developer Productivity, Total Experience, AI and Security. 2024 https://www.gartner.com/en/newsroom/press-

releases/2024-08-21-gartner-2024-hype-cycle-for-emerging-technologies-highlights-developer-productivity-total-experience-ai-and-security (дата обращения 15.03.2025).

2. Новиков А. М., Новиков Д. А. Методология научного исследования. М.: Либроком. 280 с.

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN EMERGING TECHNOLOGIES AND PROJECT ACTIVITIES IN THE FIELD OF INFORMATION TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Smorodin G.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The possibility of using an expert-analytical approach to analyze trends in the field of innovation is shown. The results of a comparative analysis of innovation trends in the fields of information technology and artificial intelligence as applied to project activities are presented.

Key words: *project activities, information technologies, artificial intelligence, expert-analytical approach*

УДК 519.684:004.4
ГРНТИ 20.23.19

СОКРАЩЕНИЕ ОБЪЕМА РАБОТЫ КВАНТОВОГО ОРАКУЛА В АЛГОРИТМЕ ГРОВЕРА

В. С. Старостин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Рассматривается базовый сценарий квантового поиска элемента в неструктурированной базе данных – алгоритм Гровера. Считается, что это оптимальный алгоритм, дающий квадратичное ускорение по сравнению с классическими методами. Мерой сложности при этом считается число обращений к так называемому "оракулу" – устройству, тестирующему элементы базы на удовлетворение их критериям поиска и маркирующему проверенные элементы соответствующим образом. В настоящей работе показано, что число обращений к оракулу можно сократить радикальным образом, хотя, возможно, только за счет значительного увеличения количества вспомогательных операций.

алгоритм Гровера, квантовый оракул, амплификация амплитуды состояния

Алгоритм Гровера [1] – это квантовый алгоритм поиска в неструктурированной базе данных. Одним из наиболее известных приложений метода является поиск ключей в симметричной схеме шифрования [2, 3]. Вообще говоря, алгоритм Гровера может быть применен не только в задачах криптоанализа, но и для упрощения решения задач поиска в любой неструктурированной базе данных. Теоретически его можно использовать в качестве вспомогательной процедуры при решении различного рода задач оптимизации, например, при поиске глобального экстремума, в методе ветвей и границ, при поиске скрытой подгруппы в алгоритме Саймона и т.д. Алгоритм оказывается также полезен при поиске данных в процессе машинного обучения [4].

Напомним кратко идею метода. Любая информация о состоянии квантовой системы получается в результате измерения. Результат измерения физической величины имеет случайный характер. Идея метода Гровера состоит в "усилении" (амплификации) амплитуды состояния объекта поиска. Поскольку вероятность получения некоторого значения измеряемой величины равна квадрату модуля амплитуды состояния, то это приводит к увеличению вероятности наблюдения целевого состояния.

Любое состояние регистра квантового компьютера из n кубитов описывается единичным вектором в $N = 2^n$–мерном унитарном пространстве $C^N = (C^2)^{\otimes n}$, построенном как тензорное произведение n экземпляров унитарного пространства C^2 одного кубита. Всякое обратимое преобразование состояния регистра осуществляется унитарным оператором, то есть с геометрической точки зрения такое преобразование – это поворот вектора состояния.

Таким образом, увеличение амплитуды целевого состояния сводится к повороту вектора, описывающего исходное состояние, в направлении, составляющим минимальный угол с вектором состояния объекта поиска.

Следовательно, задача состоит в нахождении целевого вектора и конструировании простейшей матрицы поворота в так называемом вычислительном базисе, определяемом физической природой кубитов.

В классическом случае в задаче поиска предполагается наличие устройства, определяющего свойства элементов $\{x\}$ базы данных. Это устройство аппаратно реализует функцию $f: \{0,1\}^{\otimes n} \to \{0,1\}$ такую, что $f(x) = 1$, если элемент x, удовлетворяет заданным условиям поиска, и $f(x) = 0$ в противном случае. Простоты ради будем предполагать, что решение такого уравнения существует и единственно: $x = \omega$.

Такое устройство (и функцию) принято называть “оракулом”. Сложность алгоритма поиска обычно определяется числом обращений к оракулу, гарантирующим успех поиска. В случае простого перебора для решения задачи поиска потребуется в среднем $N/2 = 2^{n-1}$ обращений к оракулу. Алгоритм Гровера позволяет с вероятностью, близкой к единице $(1 - 1/N)$, найти целевой элемент ω примерно за $\sqrt{N} = 2^{n/2}$ обращений к оракулу (квадратичное ускорение).

Стандартный алгоритм Гровера состоит в следующем.

1. Регистр квантового компьютера приводится в основное состояние: $|0^n\rangle$.

2. Затем основное состояние инициализируется под действием оператора $H^{\otimes n}$:

$$H^{\otimes n}|0^n\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_x |x\rangle = |s\rangle.$$

Здесь H одно-кубитный оператор Адамара. Суммирование проводится всем состояниям $|x\rangle$ вычислительного базиса.

Состояние $|s\rangle$ – это начальное состояние перед запуском итераций Гровера. Оно описывает состояние неструктурированной базы данных $\{x\}$. В результате измерения такого состояния квантового регистра любой из элементов базы будет зафиксирован с одной и той же вероятностью $1/2^n$.

3. Итерация Гровера начинается с действия унитарного оператора U_ω на состояние $|s\rangle$:

$$U_\omega|s\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^n}}\sum_x (-1)^{f(x)}|x\rangle = U_\omega = I - 2|\omega\rangle\langle\omega|.$$

Здесь $f(x)$ – оракул, I – единичный оператор. Оператор U_ω – это не что иное, как оператор отражения Хаусдорфа (рис. 1) всякого вектора, например $|s\rangle$, в гиперплоскости, натянутой на векторы $|\omega\rangle, |s\rangle$, относительно вектора $|s'\rangle = \frac{1}{\sqrt{N-1}}\sum_{|x\rangle\neq|\omega\rangle}|x\rangle$.

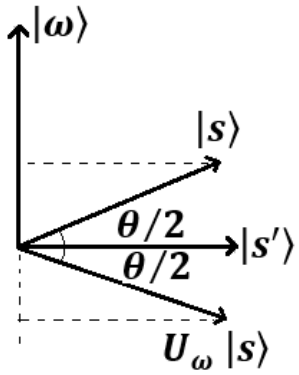


Рис. 1. Действие оператора U_ω

Следующим шагом итерации является действие оператора диффузии $U_S = 2|s\rangle\langle s| - I$ на вектор $U_\omega|s\rangle$. В результате чего он поворачивается (рис. 2) в сторону целевого вектора на угол 2θ, где $\theta = 2\sin^{-1}\frac{1}{\sqrt{N}}$

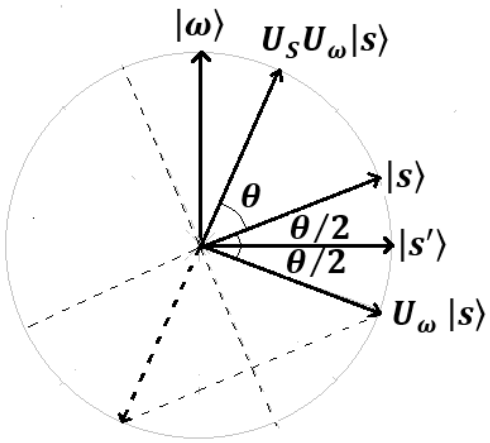


Рис. 2. Действие оператора диффузии U_S

Если угол θ достаточно мал, то такая операция увеличивает амплитуду $|\omega\rangle$ в векторе состояния системы, уменьшая суммарно вклад всех остальных ортов.

Нетрудно доказать [1], что m-кратная итерация оператора Гровера $U_S U_\omega$ повернет вектор $|s\rangle$ на угол $m\theta$. В результате вектор $(U_S U_\omega)^m|s\rangle$ будет образовывать с осью $|s'\rangle$ угол $m\theta + \theta/2$.

Желаемый результат (максимальная "амплификация" состояния $|\omega\rangle$) будет достигнут при $m\theta + \theta/2 \approx \pi/2$. Если $N \gg 1$ $\left(\theta \approx \frac{2}{\sqrt{N}}\right)$, то для этого потребуется около $m \approx \frac{\pi\sqrt{N}}{4}$ итераций, каждая из которых включает обращение к оракулу.

Поскольку при каждом обращении к квантовому оракулу он, используя квантовый параллелизм, идентифицирует целевой элемент базы данных, то кажется, что для решения задачи поиска достаточно только однократного использования оракула. Проблема же заключается в том, как эту информацию передать внешнему по отношению к квантовому прибору наблюдателю (как осуществить амплификацию состояния $|\omega\rangle$).

Заметим, что при больших N вектор $|s\rangle$ почти перпендикулярен целевому вектору $|\omega\rangle$ $\left(\langle s|\omega\rangle = 1/\sqrt{N}\right)$. Поэтому можно не завершать первую итерацию Гровера, а сразу после первого обращения к оракулу повернуть вектор $|s\rangle$ на 90° в сторону $|\omega\rangle$. Тогда повернутый вектор станет почти коллинеарен целевому и желаемая амплификация будет достигнута.

Если в множество базисных векторов включить перпендикулярные орты $|s'\rangle$, $|\omega\rangle$, то блочная матрица такого преобразования, очевидно, будет иметь вид

$$R = \begin{pmatrix} I_{N-2\times N-2} & & \\ & 0 & -1 \\ & 1 & 0 \end{pmatrix}. \qquad (1)$$

Здесь $I_{N-2\times N-2}$ – единичная матрица в ортогональном дополнении $\mathrm{C}_\perp^{N-2}$ гиперплоскости $|\omega\rangle, |s\rangle$ до C^N.

Построим ортонормированный базис $\{|e_k\rangle\}\Big|_1^N$ C^N, в котором $|e_N\rangle = |\omega\rangle = |N\rangle$, $|e_{N-1}\rangle = |s'\rangle$. В качестве базиса $\mathrm{C}_\perp^{N-2}$ выберем векторы

$$v_1 = \frac{|1\rangle - |2\rangle}{\sqrt{2}},\ v_2 = \frac{|2\rangle - |3\rangle}{\sqrt{2}},\ \ \cdots,\ v_{N-2} = \frac{|N-2\rangle - |N-1\rangle}{\sqrt{2}}.$$

Проводя процесс ортогонализации Грама-Шмидта, получаем ортогональный базис $\mathrm{C}_{\perp}^{N-2}$:

$$v_1,\ v_1+2v_2,\ v_1+2v_2+3v_3,\cdots,\ v_1+2v_2+3v_3+\cdots(N-2)v_{N-2}.$$

Нормируя систему, находим ортонормированный базис C^N, в котором матрица поворота на 90° R имеет вид (1):

$$\begin{cases} |e_N\rangle = |N\rangle,\ |e_{N-1}\rangle = \frac{|1\rangle+|2\rangle+\cdots+|N-1\rangle}{\sqrt{N-1}} \\ |e_k\rangle = \frac{|1\rangle+|2\rangle+|3\rangle+\cdots+|k\rangle-k|k+1\rangle}{\sqrt{k(k+1)/2}},\ k=1,2,\cdots,N-2 \end{cases}. \qquad (2)$$

В вычислительном базисе $\{|x\rangle\}\Big|_1^N$ эта матрица будет равна $U^{-1}RU$, где матрица $U=\{U_{kl}=\langle e_k|l\rangle\}$ – матрица перехода от вычислительного базиса к базису (2). Используя (2), нетрудно получить выражение для матрицы U:

$$U=\begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\sqrt{\frac{2}{3}} & 0 & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{1}{\sqrt{(N-1)(N-2)}} & \frac{1}{\sqrt{(N-1)(N-2)}} & \cdots & -\sqrt{\frac{N-2}{N-1}} & 0 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{N-1}} & \frac{1}{\sqrt{N-1}} & \cdots & \cdots & \frac{1}{\sqrt{N-1}} & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Как известно [5], любую унитарную матрицу, в том числе $U^{-1}RU$, можно представить в виде произведения гейтов универсального набора: $CNOT$ и не более чем $N(N-1)/2=2^{n-1}(2^n-1)$ одно-кубитных аппаратно реализуемых операций.

Таким образом, поиск целевого элемента в неструктурированной базе данных может быть, вообще говоря, выполнен только при однократном обращении к оракулу.

Остается нерешенным важный вопрос. Может ли матрица $U^{-1}RU$ быть, в принципе, построена с помощью полиномиального по числу кубит гейтов универсального набора?

В заключение автор выражает признательность профессору В. И. Коржику за интерес к работе и полезные обсуждения.

Список используемых источников

1. Grover L. K. 1996. A fast quantum mechanical algorithm for database search. //Proceedings of the Twenty-Eighth Annual ACM Symposium on Theory of Computing (STOC ’96): pp. 212–219.

2. Денисенко Д. В., Никитенкова М. В. Применение квантового алгоритма Гровера в задаче поиска ключа блочного шифра SDES. ЖЭТФ, 2019, том 155, вып. 1, С. 32-53.

3. Almazrooie M., Azman S., Rosni A., Mutter K. Quantum exhaustive key search with simplified DES as a case study. Springer Plus 2016 5:1494. DOI:10.1186/s40064-016-3159-4., 2016.

4. Wiebe Nathan, Kapoor Ashish; Svore,Krysta M. Quantum Perception Models. Advances in Neural Information Processing Systems, 2016, Vol. 29. pp. 3999–4007.

5. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. Пер. с англ. М.: Мир, 2006. С. 242-246. ISBN 5-03-003524-9.

REDUCING THE WORKLOAD OF THE QUANTUM ORACLE IN GROVER'S ALGORITHM

Starostin V.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The basic scenario of quantum search for an element in an unstructured database is considered – Grover’s algorithm. The last one is believed to be an optimal algorithm, providing quadratic acceleration compared to classical methods. The measure of complexity is the number of queries to the so-called “oracle” – a device that tests the elements of the database for satisfying their search criteria and marks the tested elements accordingly. This paper shows that the number of queries to the oracle can be reduced drastically, although, perhaps, at the expense of a significant increase in the number of auxiliary operations.

Key words: *Grover's algorithm, quantum oracle, state amplitude amplification*

УДК 356.004.6
ГРНТИ 78.21.12

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА В ВЕДОМСТВАХ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ

С. С. Степанов, Н. В. Петраков, А. В. Щербинин

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Статья посвящена вопросам создания и развития единого информационного пространства в органах военного управления. В статье особое внимание уделяется необходимости интеграции информационных систем для повышения эффективности управления войсками, оперативности принятия решений и защиты от киберугроз, роли технологий и ресурсов – таких как автоматизированные системы, локальные киоски, Telegram-каналы, средства массовой информации («Звезда», «Красная звезда») и департамент массовых коммуникаций Минобороны, преимуществам единого пространства: сокращение времени на анализ данных, повышение точности планирования, устойчивость к информационным атакам, экономия ресурсов и прозрачность процессов, а также вызовам и перспективам – включая модернизацию инфраструктуры, интеграцию устаревших систем, борьбу с киберугрозами и подготовку специалистов.

единое информационное пространство, информационные системы, межведомственное взаимодействие.

Современные задачи в управлении Вооруженными Силами диктуют необходимость тесной интеграции информационных потоков и слаженной работы всех подразделений. Усложняющаяся оперативная обстановка, многофункциональность боевых операций и потребность в постоянной адаптации к динамичным условиям делают неэффективными разобщенные системы управления. В этих условиях формирование единого цифрового пространства выступает как приоритетная стратегическая цель, направленная на усиление боеготовности войск и оптимизацию процессов принятия решений.

Цифровая экосистема объединяет массивы данных, коммуникационные и управленческие платформы, обеспечивая командованию любого уровня мгновенный доступ к актуальным сведениям. Она автоматизирует стандартные процедуры, минимизирует затраты времени на анализ информации и снижает зависимость от субъективных ошибок. Помимо этого, система выступает барьером против киберугроз, повышая устойчивость войск к виртуальным атакам и информационным провокациям.

Реализация такой системы критически важна для координации между ведомствами. Она формирует общую платформу для взаимодействия Минобороны, силовых структур и союзников, что особенно значимо в современных реалиях, где быстрота реагирования и точность в планировании определяют успех операций [1].

Формирование и развитие унифицированной информационной среды обусловлено рядом ключевых причин. Прежде всего, потребность в оперативной обработке и передаче сведений делает неэффективным применение изолированных платформ. Во-вторых, консолидация данных из множества источников позволяет создать достоверную картину происходящего, устраняя вероятность противоречий или повторяющейся информации [2].

Централизованная информационная система гарантирует доступ к данным для всех звеньев управления, что критически важно в современных условиях, где оперативность реагирования часто определяет успех миссии. Помимо этого, такая среда укрепляет сотрудничество между ведомствами, объединяя усилия Минобороны, силовых структур и внешних союзников в рамках единой координационной платформы. Например, использование общей информационной среды позволяет существенно оптимизировать планирование и мониторинг боевых задач, обеспечивая слаженную работу штабов и подразделений в режиме реального времени.

В современных условиях медиа-ресурсы выступают важнейшим инструментом в создании информационной среды и обеспечении информационной поддержки военного комплекса. Телевизионные площадки государственного уровня, включая канал «Звезда» [3], систематически демонстрируют материалы, посвященные оперативной обстановке, тренировочным мероприятиям и новым разработкам в военно-технической сфере. Подобный контент способствует формированию у гражданского общества устойчивого положительного восприятия военного ведомства, усиливает уровень общественного доверия и выступает площадкой для открытой дипломатической коммуникации. На рисунке 1 показаны преимущества использования телеканала «Звезда».

Параллельно, профессиональные медиа-проекты, такие как газета «Красная звезда», предлагают экспертные оценки и детальные исследования вопросов, связанных с национальной обороной и стратегической безопасностью. Цифровые платформы Министерства обороны выполняют двойную функцию: помимо распространения официальной информации, они выступают каналом диалога с населением. Пользователям доступны исторические документы, тематические обзоры и стратегические аналитиче-

ские выкладки, а также реализованы механизмы для оперативного обмена мнениями между военным ведомством и гражданским сектором.

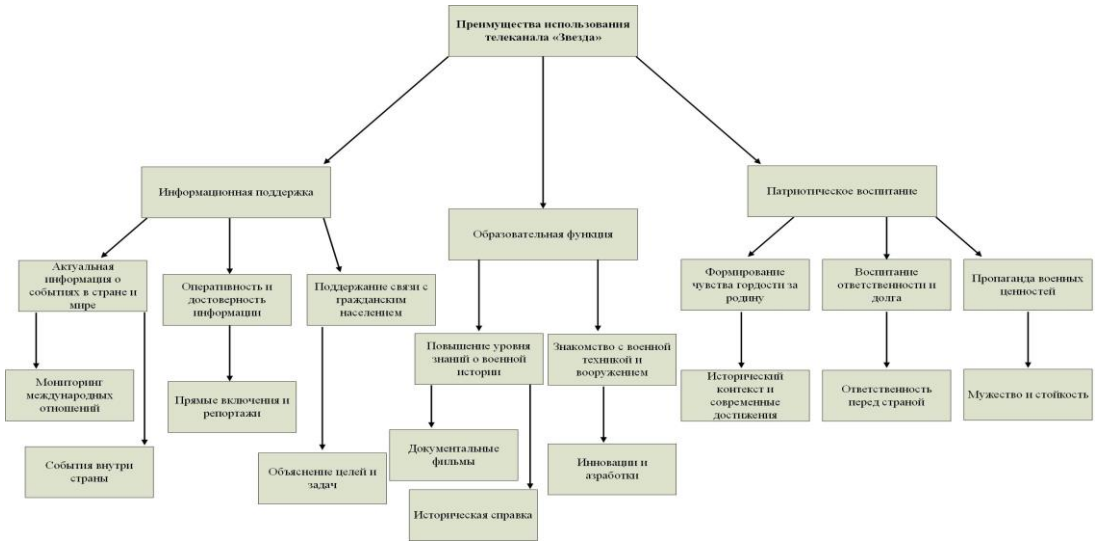


Рис. 1. Преимущества использования телеканала «Звезда»

Центральный элемент системы коммуникационного взаимодействия между военным ведомством и обществом в России – Департамент информации и массовых коммуникаций Минобороны. Он отвечает за формирование и реализацию медиа-стратегии министерства, а также координацию взаимодействия с журналистскими коллективами.

Департамент реализует партнерские программы с университетами и научными центрами, разрабатывая образовательные модули для повышения квалификации военных кадров и гражданских специалистов оборонной отрасли. Это позволяет формировать устойчивый диалог между армией и обществом, обеспечивая открытость в освещении военной деятельности.

Особую роль структура играет во время стратегических учений (например, оперативно-стратегических игр «Запад» или «Восток»). В режиме реального времени публикуются эксклюзивные материалы: отчеты о ходе маневров, видеохроника с полигонов и интервью с командованием. Эти данные используются как для внутреннего документооборота, так и для демонстрации прозрачности военной политики иностранным партнерам.

Платформы мгновенного обмена сообщениями, включая Telegram, заняли стратегическую нишу в системе государственного информационного взаимодействия. Ведомственные аккаунты Минобороны используются для оперативного распространения оперативных сводок, официальных комментариев и афиш мероприятий, а также для дезавуирования фейковых новостей. Такие каналы обеспечивают вертикальную коммуникацию между штабами разных уровней, сокращая логистические издержки и повышая точность передачи данных за счет мгновенной доставки.

Приватные чаты и защищенные каналы в мессенджерах применяются для закрытого обмена документами, включая директивы и оперативные планы. Это ускоряет принятие решений, минимизируя бюрократические процедуры. Помимо этого, платформа активно используется для дистанционного обучения военнослужащих: через Telegram транслируются видеоучебники, графические инструкции и интерактивные руководства. Например, внедрение мобильных образовательных модулей с тестовыми заданиями и симуляторами позволяет проводить тренинги в режиме реального времени даже в полевых условиях [4].

Цифровая инфраструктура выступает интегральным компонентом современных систем военного управления. Она агрегирует технологические решения, информационные активы и управленческие процедуры, формируя среду для мгновенного реагирования и слаженной работы подразделений. Построение и модернизация такой инфраструктуры предполагают масштабные ресурсные вложения, однако их результатом становится рост адаптивности войск, стабильности системы управления и уровня боевой подготовки.

Список используемых источников

1. Бусленко М. П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 400 с.
2. Буренок В. М, Ляпунов В. М., Мудров В. И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2004. 419 с.
3. Телерадиокомпания Вооруженных Сил Российской Федерации «ЗВЕЗДА»: официальный сайт. Москва, 2005. URL: https://tvzvezda.ru (дата обращения 28.03.2025).
4. Халл Э., Джексон К., Джереми Д. Инженерия требований. М.: ДМК-Пресс, 2017. 224 с.

ON THE ISSUE OF USING A SINGLE INFORMATION SPACE IN THE DEPARTMENTS OF THE MINISTRY OF DEFENSE

Stepanov S., Petrakov N., Shcherbinin A.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The article is devoted to the creation and development of a unified information space in the military administration. The article focuses on the need to integrate information systems to improve the effectiveness of command and control, decision–making efficiency and protection from cyber threats, the role of technologies and resources such as automated systems, local kiosks, Telegram channels, mass media (Zvezda, Krasnaya Zvezda) and the Department of Mass Communications of the Ministry of Defense, the advantages of single space: reducing time spent on data analysis, improving planning accuracy, resilience to information attacks, saving resources and transparency of processes, as well as challenges and prospects, including infrastructure modernization, integration of legacy systems, combating cyber threats and training specialists.

Key words: *unified information space, information systems, interagency cooperation*

УДК 004.89
ГРНТИ 28.23.25

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АДАПТИВНЫХ ПЛАТФОРМАХ И ВИРТУАЛЬНЫХ НАСТАВНИКАХ НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС

С. С. Тихонов, Н. Л. Виткевич, А. С. Никулин

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Современное образование переживает радикальные изменения под влиянием искусственного интеллекта, который трансформирует традиционные педагогические парадигмы. Адаптивные обучающие системы и виртуальные наставники становятся ключевыми элементами новой образовательной экосистемы, предлагая персонализированные траектории обучения, автоматизированную обратную связь и круглосуточную поддержку учащихся. Эти технологии не просто дополняют традиционные методы преподавания, но и переопределяют роли участников образовательного процесса, создавая условия для формирования принципиально новых дидактических моделей. Исследования демонстрируют, что внедрение ИИ-решений повышает академическую успеваемость на 30-40 % за счет точной диагностики познавательных потребностей и динамической адаптации контента.

адаптивные платформы, виртуальные наставники, искусственный интеллект

Анализ современных исследований позволяет выделить четыре ключевых дидактических свойства искусственного интеллекта (ИИ), определяющих его трансформационный потенциал в образовании. Субъектность проявляется в способности ИИ-систем выступать равноправным участником образовательного взаимодействия, генерируя содержательные ответы и педагогические решения [1]. Это качество особенно значимо для поколения «цифровых аборигенов», воспринимающих ИИ как естественного коммуникативного партнера.

Контекстность обеспечивает учет индивидуальных особенностей учащихся, включая их когнитивный стиль, эмоциональное состояние и социальный контекст. Современные системы на базе NLP (Natural Language Processing) анализируют не только формальные ответы, но и метаданные взаимодействия – время выполнения заданий, паттерны исправлений, частоту запросов помощи [2].

Адаптивность как свойство ИИ-платформ позволяет динамически перестраивать содержание обучения в соответствии с прогрессом учащегося.

Механизмы машинного обучения выявляют скрытые закономерности в учебной деятельности, предсказывая зоны ближайшего развития [3].

Ассистивность проявляется в способности ИИ брать на себя рутинные педагогические функции: проверку заданий, составление индивидуальных учебных планов, мониторинг прогресса. Российские исследования показывают пятикратное снижение административной нагрузки на преподавателей вузов при использовании ИИ-ассистентов.

Внедрение ИИ инициирует переход от линейных образовательных моделей к нелинейным адаптивным системам. Традиционная «фабричная» модель образования, основанная на стандартизации и массовости, уступает место персонализированным траекториям обучения. Это требует пересмотра классических дидактических принципов:

Принцип научности дополняется требованием актуальности контента, обеспечиваемого постоянным обновлением знаний в ИИ-системах через интеграцию с научными базами данных [4].

Принцип наглядности трансформируется в мультисенсорное представление информации через VR/AR-интерфейсы.

Принцип систематичности реализуется через алгоритмы спирального обучения, автоматически возвращающиеся к ключевым концепциям [3].

Эти изменения приводят к перераспределению функций между участниками образовательного процесса. Педагог становится куратором обучения, фокусируясь на метакогнитивных навыках и ценностном ориентировании, в то время как ИИ берет на себя оперативное управление учебным процессом [1].

Адаптивные обучающие платформы: архитектура и педагогическая эффективность

Технологические компоненты адаптивных систем

Современные адаптивные платформы представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы, включающие:

– модуль сбора данных (eye-tracking, анализ паттернов ввода, биометрические датчики);
– Machine Learning Engine для прогнозного моделирования;
– контент-агрегатор с динамической генерацией учебных материалов;
– систему рекомендаций на основе коллаборативной фильтрации.

Ядром таких систем выступают нейросетевые архитектуры типа Transformer, способные обрабатывать мультимодальные данные и устанав-

ливать скрытые взаимосвязи между различными аспектами учебной деятельности [2]. Например, платформа Squirrel AL демонстрирует эффективность гибридных моделей, сочетающих символьный ИИ для работы с структурированными знаниями и нейросетевые подходы для анализа неформализованных данных.

Эмпирические исследования выявляют значимые корреляции между использованием адаптивных систем и образовательными результатами. В эксперименте с участием 10,000 студентов Chilean University внедрение платформ на базе искусственного интеллекта привело к:

– 37 % снижению показателя отсева;
– 28 % росту среднего балла;
– 42 % увеличению скорости освоения компетенций [3].

Ключевым фактором успеха становится механизм динамической сложности задач, основанный на теории зоны ближайшего развития Выготского. Алгоритмы определяют оптимальный уровень сложности для каждого учащегося, балансируя между когнитивной нагрузкой и мотивацией [1].

Первое поколение образовательных ИИ-ассистентов ограничивалось текстовыми интерфейсами с правилами pattern-response. Современные системы типа GPT-4 реализуют концепцию педагогического агента с:

– эмоциональным интеллектом (анализ тона, темпа речи, микровыражений);
– контекстной памятью диалога;
– способностью к рефлексивным вопросам;
– мультимодальным взаимодействием (текст, голос, жесты в VR).

Архитектура таких систем включает модуль анализа настроений на базе BERT-моделей, обеспечивающий эмпатическую реакцию на эмоциональное состояние учащегося [2]. Эксперименты с виртуальным тьютором IntelliTutor показывают 23 % повышение вовлеченности по сравнению с традиционными LMS-системами [2].

Виртуальные наставники решают комплекс задач:

– мотивационная поддержка: генерация персонифицированных поощрений;
– метакогнитивное сопровождение: помощь в постановке учебных целей;
– эмоциональная регуляция: техники снижения тревожности через biofeedback;
– социальное обучение: организация виртуальных учебных групп.

Исследования демонстрируют, что студенты, взаимодействующие с ИИ-тьюторами, проявляют на 40 % более высокий уровень самостоятельности в решении нестандартных задач [5]. Это объясняется способностью ИИ создавать «безопасную среду для проб и ошибок», где учащиеся могут экспериментировать без страха негативной оценки.

Внедрение ИИ-технологий усиливает социальное расслоение из-за:
– различий в доступе к технологической инфраструктуре;
– цифровой грамотности педагогов;
– культурных особенностей восприятия ИИ.

Российские исследователи отмечают риск формирования «педагогического цифрового пролетариата» – преподавателей, ограниченных в возможностях профессионального развития из-за автоматизации [4]. Для предотвращения этого требуются государственные программы переподготовки с акцентом на цифровую педагогику.

Современные разработки в области artificial general intelligence (AGI) ставят вопрос о правовом статусе ИИ-тьюторов. Этические кодексы должны регулировать:
– прозрачность алгоритмических решений;
– защиту персональных образовательных данных;
– предотвращение манипулятивного воздействия;
– сохранение человеческого контроля над образовательными целями.

Эксперты предлагают ввести сертификацию образовательных ИИ-систем по аналогии с педагогической аккредитацией, включая оценку их дидактической адекватности и культурной чувствительности [1].

Трансформация образования под влиянием ИИ переходит в фазу институционализации, когда технологии становятся неотъемлемым элементом образовательной инфраструктуры. К 2030 году ожидается формирование гибридных педагогических систем, где ИИ берет на себя 60-70 % операционных задач, а человеческий интеллект фокусируется на творческих и ценностно-смысловых аспектах обучения. Ключевым вызовом остается сохранение антропоцентричной парадигмы образования в условиях нарастающей алгоритмизации. Успешная интеграция ИИ требует переосмысления педагогического образования, разработки новых стандартов цифровой дидактики и создания международных регуляторных ограничений, обеспечивающих этичное использование образовательных технологий.

Список используемых источников

1. Кондаков А. М., Сергеев И. М., Абрамов В. И. Искусственный интеллект как фактор трансформации образования // Научные сообщения. 2024. № 2. С. 5-24.
2. Rathika P., Yamunadevi S., Ponni P., Parthipan V., & Anju P. Developing an AI-Powered Interactive Virtual Tutor for Enhanced Learning Experiences. International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering, 2024. 10 (4).
3. Баррат Дж. Последнее изобретение человечества: Искусственный интеллект и конец эры Homo sapiens / пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн, 2019. 396 с. ISBN 978-5-00139-082-4.
4. Околелов О. П. Искусственный интеллект и инновационные педагогические средства в образовании: монография М.: Директ-Медиа, 2020. 180 с. ISBN 978-5-4499-0776-9.
5. Vera F. Transforming Higher Education with Adaptive AI Driven-Learning: Challenges and Opportunities. Transformar Electronic Journal, 2024. 5 (4).

THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ADAPTIVE PLATFORMS AND VIRTUAL TUTORS ON THE EDUCATIONAL PROCESS

Tikhonov C., Vitkevich N., Nikulin A.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

Modern education is undergoing radical changes under the influence of artificial intelligence (AI), which is transforming traditional pedagogical paradigms. Adaptive learning systems and virtual mentors are becoming key elements of the new educational ecosystem, offering personalized learning paths, automated feedback, and 24/7 student support. These technologies not only complement traditional teaching methods, but also redefine the roles of participants in the educational process, creating conditions for the formation of fundamentally new didactic models. Research shows that the implementation of AI solutions increases academic performance by 30-40 % due to accurate diagnosis of cognitive needs and dynamic adaptation of content.

Key words: *adaptive platforms, virtual mentors, artificial intelligence*

УДК 004.8:004.9:37.016:004.942
ГРНТИ 28.23.15

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАНИЙ НА ТЕСТИРОВАНИЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ

С. С. Тихонов, С. А. Константинов, О. И. Никитов

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

Статья описывает интеллектуальное программное обеспечение (ПО), предназначенное для автоматизации формирования тестовых заданий. Предлагаемое решение использует интеграцию алгоритмов машинного обучения и обработки естественного языка, что повышает эффективность и объективность оценки знаний учащихся. ПО позволяет генерировать персонализированные тесты, значительно сокращая временные затраты преподавателей. Система реализована на основе клиент-серверной архитектуры с применением Java, Spring Framework и PostgreSQL и демонстрирует практическую значимость для образовательных учреждений.

тестирование, искусственный интеллект, генерация тестов, машинное обучение, обработка естественного языка, Java, Spring Framework

Современные образовательные процессы требуют автоматизации рутинных задач, включая формирование тестовых заданий. Традиционные методы оценки знаний часто субъективны и трудоемки, что снижает их эффективность [1]. Актуальность разработки интеллектуальных систем для генерации тестов обусловлена необходимостью персонализации обучения и минимизации человеческого фактора.

Обзор Анализ современных платформ для создания тестов выявил два ключевых аналога: PrepAI и Smartest Learning которые представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение аналогов

Критерий	PrepAI	Smartest Learning
Цель	Генерация тестов	Образовательные курсы
Использование ИИ	Персонализация вопросов	Адаптация обучения
Целевая аудитория	Учители и ученики	Студенты и профессионалы

Недостатки аналогов: отсутствие локализации для российского рынка, ограниченная интеграция с NLP-моделями, высокая стоимость подписки [2]. Это подтверждает необходимость разработки открытого решения, ориентированного на русскоязычные образовательные учреждения.

Разработка интеллектуального программного обеспечения для автоматизации формирования тестовых заданий представляет собой сложную и многогранную задачу, требующую комплексного подхода и учета различных факторов. Основные сложности, возникающие при создании такого ПО, включают:

1. Разработка эффективных алгоритмов: Создание алгоритмов машинного обучения и обработки естественного языка, способных генерировать качественные и релевантные тестовые задания, является трудоемким процессом. Необходимо проводить эксперименты с различными моделями, выбирать оптимальные параметры и адаптировать их к конкретным предметным областям.

2. Интеграция с NLP-моделями: Интеграция ИПО с крупными языковыми моделями, такими как YandexGPT, требует глубокого понимания архитектуры этих моделей и умения эффективно использовать их API. Необходимо учитывать ограничения по количеству запросов, стоимость использования и другие технические аспекты.

3. Формирование датасетов: Обучение языковых моделей требует больших объемов размеченных данных. Сбор и подготовка датасетов, содержащих примеры тестовых заданий и ответов, является сложной и время затратной задачей. Важно обеспечить разнообразие и качество данных, чтобы модель могла генерировать адекватные и полезные тесты.

4. Обработка естественного языка: Разработка модулей для обработки естественного языка, способных анализировать учебный материал, выделять ключевые понятия и формулировать вопросы на основе этих понятий, требует лингвистической экспертизы и применения сложных алгоритмов. Необходимо учитывать особенности русского языка, такие как морфология, синтаксис и семантика.

5. Пользовательский интерфейс: Создание удобного и интуитивно понятного пользовательского интерфейса, позволяющего преподавателям легко создавать, редактировать и настраивать тестовые задания, является важным фактором успешного внедрения ИПО в образовательный процесс.

6. Тестирование и валидация: Тщательное тестирование и валидация разработанного ИПО необходимы для обеспечения качества и надежности системы. Важно привлекать экспертов в предметных областях для оценки сгенерированных тестов и выявления потенциальных ошибок.

Преодоление этих сложностей требует квалифицированной команды разработчиков, обладающих опытом в области машинного обучения, обработки естественного языка, программирования и тестирования. При этом важно ориентироваться на передовые технологии и методологии разработки, чтобы создать эффективное и полезное решение для образовательных учреждений.

Система построена по клиент-серверной модели (рис. 1). Серверная часть реализована на Java с использованием Spring Framework, что обеспечивает масштабируемость и безопасность [3]. Для хранения данных выбрана СУБД PostgreSQL, поддерживающая сложные запросы и целостность данных.

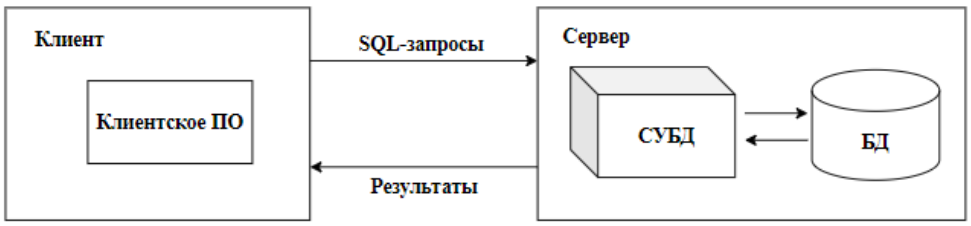


Рис. 1. Клиент-серверная архитектура

Основу алгоритма составляют продукционные правила и интеграция с YandexGPT 3. Пример правила:

ЕСЛИ (вопрос отсутствует в базе) → генерация через YandexGPT 3.

ЕСЛИ (вопрос повторяется) → замена на альтернативный из базы.

Модель YandexGPT 3 fine-tuning выполнена на датасете учебных материалов, что позволяет генерировать контекстно-релевантные вопросы

Пример JSON-запроса (рис. 2)

```
{
  "modelUri": "gpt://<bigpg2cmjohcau7c41b6>/yandexgpt/latest",
  "completionOptions": {
    "stream": false,
    "temperature": 0.6,
    "maxTokens": "2000"
  },
  "messages": [
    {
      "role": "system",
      "text": "Создай тест."
    },
    {
      "role": "user",
      "text": nameTest
    }
  ]
}
```

Рис. 2. Пример JSON-запроса, отправляемого в Yandex GPT (из файла «RequestToGpt.java») для генерации тестового задания

Данная система позволяет выгрузить варианты тестов и ответы на них в удобном для пользователя формате, например, .docx (рис. 3).

```
public void downloadQuizListDocx(List<Quiz> quizList, String uuid, HttpServletResponse response) {
  SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat("MM-dd-yyyyHH-mm-ss");
  Date resultDate = new Date(System.currentTimeMillis());
  String fileName = uuid.concat("").concat(sdf.format(resultDate)).concat(".docx");
  try {
    InputStream is = writer.getQuizInputStream(quizList, fileName);
    org.apache.commons.io.IOUtils.copy(is, response.getOutputStream());
    response.setContentType("application/docx");
    response.addHeader("Content-Disposition", "attachment; filename="+fileName);
    response.flushBuffer();
    log.info("file with name {} has been downloaded", fileName);
  } catch (IOException ex) {
    log.info("Error writing file to output stream. Filename was '{}'", fileName, ex);
    throw new RuntimeException("IOError writing file to output stream");
  }
}
```

Рис. 3. Код для скачивания тестов и ответов

Тестирование включало проверку:

1. Авторизации и регистрации пользователей.
2. Генерации тестов (ручной и автоматической).
3. Экспорта заданий в формате DOCX.

Все сценарии выполнены успешно таблица 2. Пример сгенерированного теста по русскому языку:

1. В каком слове суффикс имеет не то значение, что в остальных?

а) бантик

б) хвостик

в) носик

г) ротик

Правильный ответ: 1.

ТАБЛИЦА 2. Результаты тестирования

Сценарий	Результат
Генерация теста	Успешно
Скачивание DOCX	Успешно
Обработка ошибок ввода	Корректное уведомление

Разработанное ПО превосходит аналоги за счет:

– локализации для русского языка;
– интеграции с YandexGPT 3;
– открытого исходного кода.

Ограничения: необходимость доработки интерфейса для мобильных устройств. Перспективы: расширение предметной базы и внедрение нейросетевой оценки ответов.

Разработанное интеллектуальное программное обеспечение для формирования тестовых заданий представляет собой мощный инструмент для автоматизации образовательного процесса. Оно позволяет не только упростить работу преподавателей, но и повысить качество оценки знаний учащихся. Внедрение подобных систем в образовательные учреждения может стать важным шагом на пути к цифровизации образования.

Список использованных источников

1. Бубнов А. А., Реутский К. А. Тестирование программного обеспечения. М.: КУРС, 2019. 128 с.
2. Spring Framework Documentation. URL: https://docs.spring.io (дата обращения 10.06.2024).
3. PostgreSQL Documentation. URL: https://postgrespro.ru/docs (дата обращения 10.06.2024).
4. Шилдт Г. Java: Полное руководство. – М.: Диалектика, 2018. – 1488 с.
5. Yandex Cloud. URL: https://yandex.cloud.ru/docs (дата обращения 10.06.2024).

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SOFTWARE FOR THE FORMATION OF TEST ASSIGNMENTS FOR STUDENTS

Tikhonov S., Konstantinov S., Nikitov O.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The article describes intelligent software designed to automate the generation of test tasks. The proposed solution uses the integration of machine learning and natural language processing algorithms, which increases the effectiveness and objectivity of student knowledge assessment. The software allows you to generate personalized tests, significantly reducing the time spent by teachers. The system is implemented on the basis of a client-server architecture using Java, Spring Framework and PostgreSQL and demonstrates practical significance for educational institutions.

Key words: *testing, artificial intelligence, test generation, machine learning, natural language processing, Java, Spring Framework*

УДК 681.5
ГРНТИ 50.47

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

Д. Ф. Ткачев, П. В. Воробьев, Ю. А. Кудрявцева, М. Ю. Самков

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В статье рассматриваются ключевые особенности реализации автоматизированной системы управление технологическими процессами блочно-модульной котельной, возможность их реализации на ПЛК и реализация функций мониторинга и управления в SCADA-системе.

автоматизированные системы управления, блочно-модульные котельные, SCADA-системы и ПЛК

Современные котельные установки требуют высокого уровня автоматизации для обеспечения безопасности, энергоэффективности и бесперебойной работы. Блочно-модульные котельные, благодаря компактности и мобильности, становятся популярным решением для объектов, где отсутствуют стационарные помещения. Однако их эффективная эксплуатация невозможна без внедрения автоматизированных систем управления (АСУ ТП).

Котельная работает по принципу получения тепла для нагрева воды, циркулирующей в трубопроводах. Горючее сгорает в горелке, выделяя тепло, которое передается воде через теплообменник. Нагретая вода поступает в систему отопления и горячего водоснабжения, образуя замкнутый контур. В процессе сгорания выделяются вредные вещества, которые отводятся через дымоход.

Для обеспечения надежной работы котла важен контроль и управление такими параметрами, как температура и расход теплоносителя. Температуру измеряют с помощью термометров расширения или манометрических термометров, а расход – с помощью дроссельных расходомеров или суммирующих приборов. Вентиляция котельной контролируется датчиками углекислого газа, чтобы поддерживать его концентрацию в пределах нормы.

Основная цель системы управления котлом – предотвратить аварии и повреждения, обеспечивая эффективное и безопасное функционирование.

Внедрение системы позволит снизить энергозатраты, минимизировать риск аварий и сократить численность обслуживающего персонала. В состав АСУ ТП котельной входят:

1.Исполнительные механизмы, дискретные датчики, контрольно-измерительные преобразователи, располагаемые на технологических участках котельной.

2. ПЛК с модулями ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов.

3. АРМ диспетчера.

На рисунке 1 изображена архитектура АСУ ТП котельной:

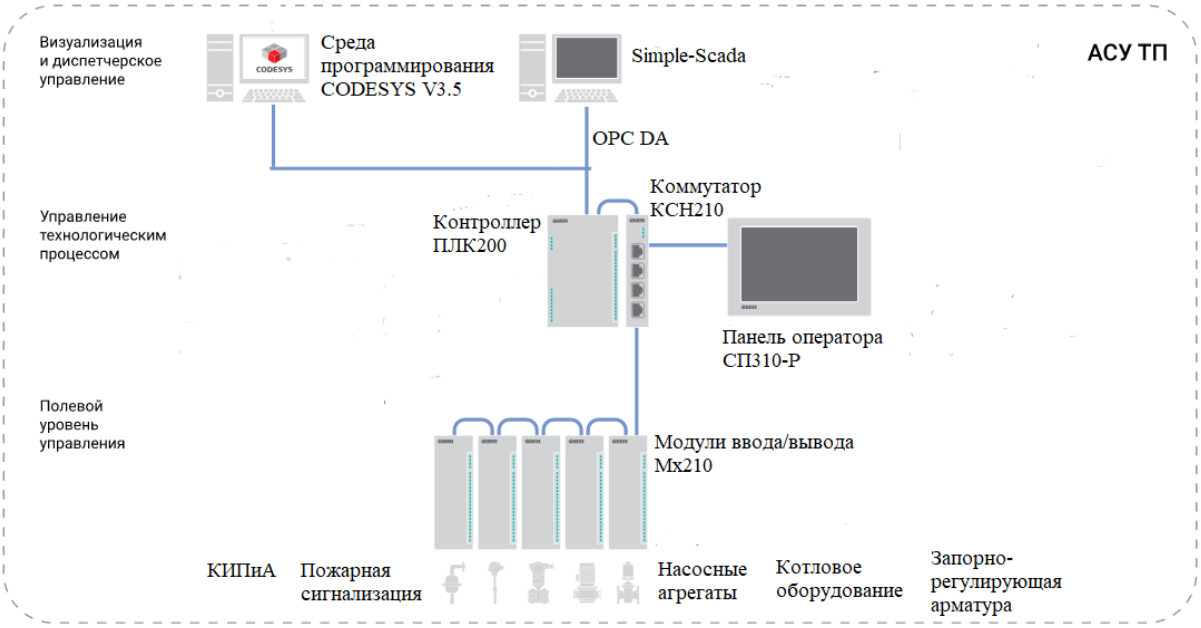


Рис. 1. Архитектура АСУ ТП котельной

На нижнем уровне находятся датчики и исполнительные механизмы, которые устанавливаются непосредственно на оборудовании. Их задача – измерение параметров, преобразование этих данных и передача на следующий уровень.

Средний уровень – это уровень производственного участка. Он выполняет следующие функции:

– сбор, обработка и хранение информации, поступающей с нижнего уровня;
– генерация управляющих сигналов на основе анализа данных;
– передача информации о состоянии участка на верхний уровень.

Верхний уровень в системе автоматизации отвечает за управление и контроль производства. Он включает в себя сбор данных с производственных участков, их обработку, хранение и выдачу команд на более низкие уровни. На этом уровне размещаются мощные компьютеры, которые выполняют функции серверов баз данных и рабочих станций, обеспечивая анализ и визуализацию информации, а также взаимодействие с операторами.

Для эффективного использования энергоресурсов в котельной организовано переключения режима работы день/ночь.

В алгоритме происходит сравнение текущего времени с уставками, значение которых приведено ниже.

В зависимости от режима работы изменяются выходные данные: в дневном режиме работы необходимо поддерживать температуру отопления 20°С, температуру ГВС 50°С в период времени 6:00 – 22:00. В ночном режиме работы необходимо поддерживать температуру отопления 30°С, догрев ГВС не производится в период времени 22:00 – 6:00.

В зависимости от наружной температуры происходит переключения режимов работы лето/зима, что приводит к тому, что во время летнего режима работы котельная поставляет только ГВС. Режим работы отопления+ГВС включается в зимнее время года.

В котельной используются запасные насосы, включающиеся только в аварийных ситуациях.

Для управление горелками в котлах и ТЭНом в бойлере реализован режим работы тактования: горелки на котлах и ТЭН на бойлере работают несколько минут, пока не будет достигнута заданная температура +5°С. По достижению температуры горелки и ТЭН отключаются. После выхода за границы заданной температуры -5°С процесс повторяется.

Машинный код, сгенерированный компилятором Codesys, загружается в ПЛК. Текущие значения переменных видны непосредственно в редакторах программ.

Помимо средств программирования, Codesys имеет встроенную систему визуализации (рис. 2), которая применяется для операторского управления, а также моделирования на этапе разработки.

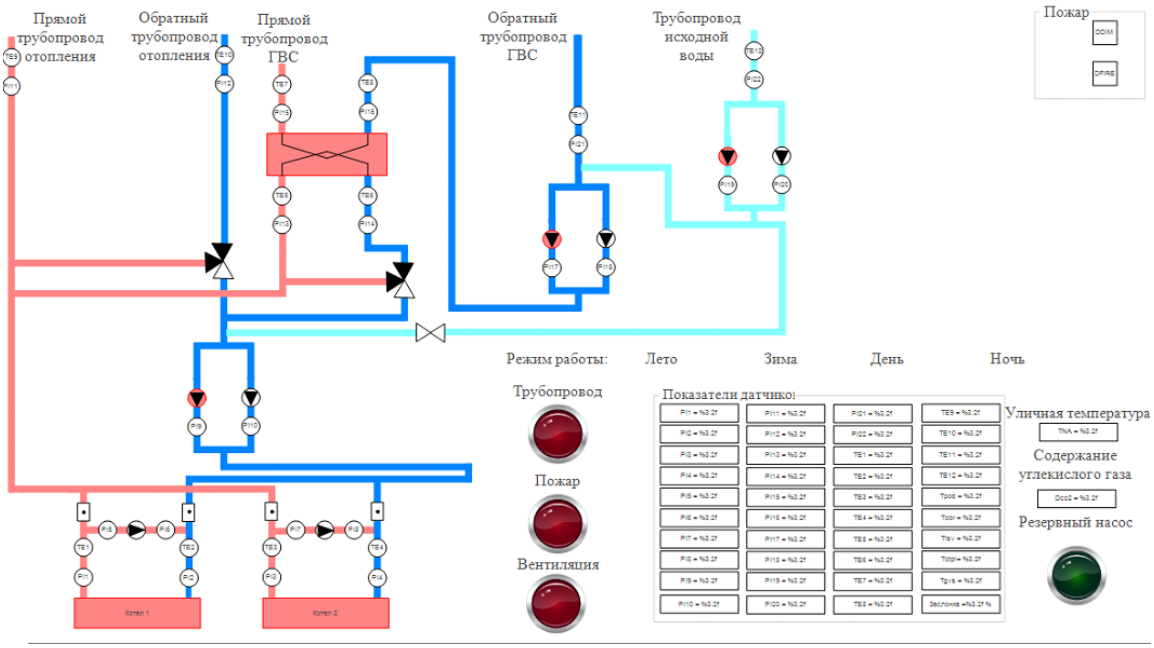


Рис.2. Визуализация в Codesys

Общение ПЛК со SCADA осуществляется с помощью стандартного OPC сервера. На рис. 3 показана собранная мнемосхема для визуализации требуемых функций.

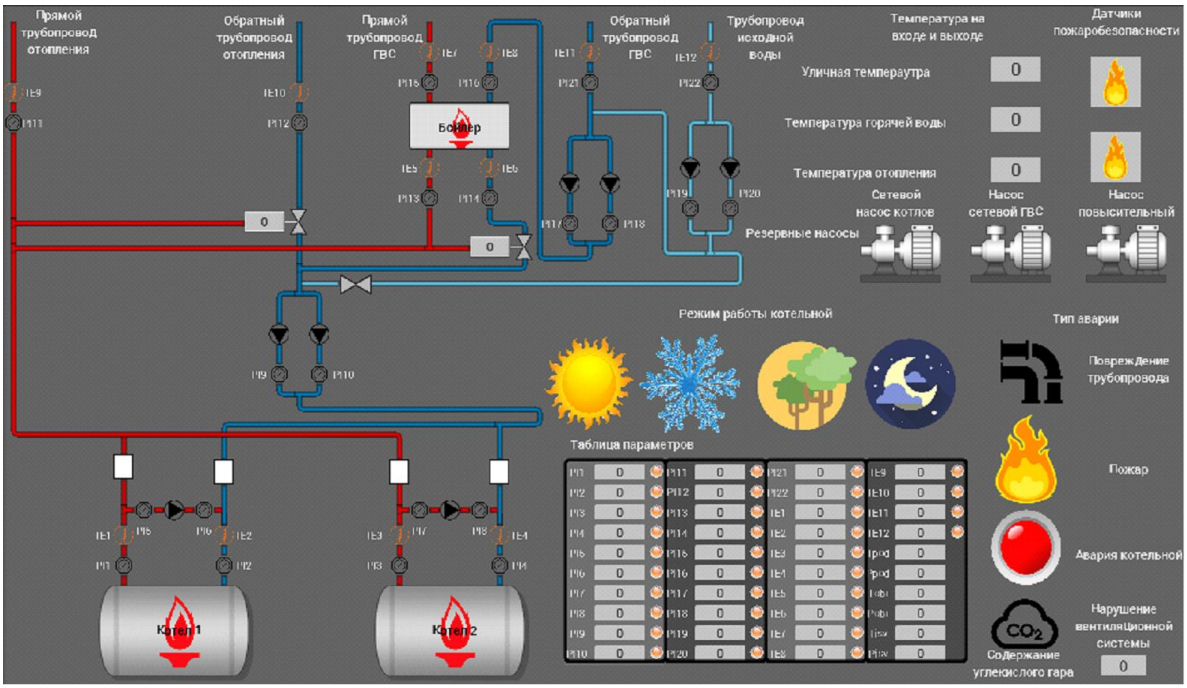


Рис. 3. Мнемосхема в Simple-Scada

Внедрение АСУ ТП в управление блочно-модульной котельной демонстрирует эффективность применения современных контроллеров и *SCADA-систем*. Реализованные алгоритмы обеспечивают безопасность, энергоэффективность и адаптивность к изменяющимся условиям.

Список используемых источников

1. Немченко В. И. Проектная документация автоматизации котельной установки: учебно-методическое пособие / В. И. Немченко, Г. Н. Епифанова, М. В. Заикина. – 2-е изд. Самара: АСИ СамГТУ, 2017. 35 с. Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: https://e.lanbook.com/book/127542

2. Тарасюк В. М. Эксплуатация котлов: учебное пособие / В. М. Тарасюк; под редакцией Б. А. Соколова. Москва: ЭНАС, 2015. 272 с. ISBN 978-5-4248-0076-4. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: https://e.lanbook.com/book/104553

3. Барочкин Е. В. Котельные установки: учебное пособие / Е. В. Барочкин, В. Н. Виноградов, А. Е. Барочкин. Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 440 с. ISBN 978-5-9729-0691-8. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: https://e.lanbook.com/book/192776

4. Лебедев В. М. Тепловой расчет котельных агрегатов средней паропроизводительности: учебное пособие для вузов / В. М. Лебедев, С. В. Приходько. – 3-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 212 с. ISBN 978-5-8114-8000-5. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. URL: https://e.lanbook.com/book/171886

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM IN A BLOCK MODULAR BOILER HOUSE

Tkachev D., Vorobyov P., Kudryavtseva J., Samkov M.
Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

The article discusses the key features of the implementation of an automated process control system for a block-modular boiler house, the possibility of their implementation on a PLC and the implementation of monitoring and control functions in a SCADA system.

Key words: *automated control systems, block-modular boiler houses, SCADA systems and PLCs*

УДК 004.02
ГРНТИ 20.53.19

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВЕКТОРИЗАЦИИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТЕКСТОВ ЗАДАЧ ПО РАЗРАБОТКЕ ПО

Ф. В. Филиппов, И. В. Цыварев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Проведен анализ существующих языковых моделей для векторизации текстовых данных. Определены преимущества и недостатки различных языковых моделей, создана сводная таблица с информацией о выбранных моделях. Рассмотрены метрики качества векторизации и кластеризации текста с использованием языковых моделей. Проведено сравнение выбранных языковых моделей с использованием выбранных метрик, сделан вывод об эффективности использования моделей для обработки текстов задач по разработке программного обеспечения.

языковые модели, векторизация текста, кластеризация текста, трудозатраты, обработка естественного языка

В условиях стремительной цифровизации и роста сложности программных систем разработка программного обеспечения сталкивается с увеличением объема и разнообразия текстовых данных: от формулировок задач и требований до документации и пользовательских обращений. Автоматизация обработки таких данных становится критически важной для оптимизации управления проектами, анализа метрик и улучшения коммуникации между участниками процессов. В этом контексте ключевую роль играют методы векторизации и кластеризации текстов, позволяющие преобразовывать неструктурированную информацию в форматы, пригодные для машинного анализа, а также выявлять скрытые паттерны и группировать схожие задачи.

В отличие от традиционных подходов, которые основываются на частотности слов или контекстных окнах, LLM-модели используют глубокое обучение для понимания контекста и семантики текста. Это позволяет им создавать более точные и информативные векторные представления, которые лучше отражают смысл и структуру текста. Например, TF-IDF ограничивается учетом частотности слов и не учитывает их порядок или контекст, тогда как Word2Vec, хотя и учитывает контекст, ограничен фиксированным размером окна. LLM-модели, такие как BERT и его вариации, используют механизмы внимания для динамического учета контекста, что позволяет им более точно векторизовать тексты и, следовательно, улучшать результаты кластеризации.

Это делает LLM-модели более подходящими для сложных задач обработки естественного языка, таких как разработка программного обеспечения, где точность и контекстное понимание играют ключевую роль [1, 2].

Проведем сравнительный анализ языковых моделей на базе BERT в рамках задачи прогнозирования трудозатрат. Для сравнения эффективности использования данных моделей используем их для извлечения информации о задачах из названия задачи и ее описания. Для этого используем датасет, состоящий из набора данных о задачах на разработку ПО, дополним его данными, полученными в результате использования языковых моделей, и обучим регрессионную модель на основе деревьев решений. В таблице 1 представлены данные о сравниваемых моделях.

ТАБЛИЦА 1. Сравниваемые языковые модели и их характеристики

Параметр	DeepPavlov/rubert-base-cased	cointegrated/rubert-tiny	ai-forever/ruRoberta-large	ai-forever/ruBert-large	ai-forever/ruBert-base
Архитектура	BERT (base)	BERT (упрощенный)	RoBERTa (large)	BERT (large)	BERT (base)
Количество параметров	~178 млн	~15 млн	~355 млн	~335 млн	~178 млн
Размер модели	~650 МБ	~60 МБ	~1.5 ГБ	~1.3 ГБ	~650 МБ
Обучающие данные	Википедия, новостные корпуса	Разнородные тексты	Крупный корпус (веб, книги и др.)	Аналогично ruRoberta-large	Википерия, новостные данные
Качество на NER	~92 F1 (высокое)	~85 F1 (среднее)	~94 F1 (очень высокое)	~93 F1 (высокое)	~90 F1 (выше среднего)
Задачи	Классификация	Легкие NLP-задачи	Сложные задачи (суммаризация)	Классификация, генерация	Базовые NLP-задачи
Сильные стороны	Баланс качества и скорости	Быстрота, малый размер	Максимальное качество	Высокая емкость модели	Универсальность

Параметр	DeepPavlov/rubert-base-cased	cointegrated/rubert-tiny	ai-forever/ruRoberta-large	ai-forever/ruBert-large	ai-forever/ruBert-base
Ограничения	Высокий расход памяти	Ограниченная точность	Ресурсоемкость	Требует мощного железа	Средняя точность на сложных задачах

Датасет, на котором будет обучена регрессионная модель, состоит из следующих колонок:
– название задачи;
– описание задачи;
– исполнитель;
– автор задачи;
– срочность задачи;
– тип задачи (запрос на обслуживание/инцидент);
– предположительное время решения;
– итоговое время решения.

Для метрик качества обученной модели были выбраны такие показатели, как среднеквадратичное отклонение (MSE), среднеквадратичная ошибка (RMSE), средняя абсолютная ошибка (MAE), коэффициент детерминации (R2) и точность, равная доле тестовых результатов, превышающих номинальный не более, чем на 4 часа [3-5].

Для обучения регрессионной модели произведены следующие действия в указанном порядке:
– загрузка датасета, преобразование данных;
– получение векторизированных данных о «Заголовке задачи» и «Описании задачи»;
– получение данных о темах, содержащихся в «Заголовках задач» и «Описаниях задач» с помощью метода BERTopic;
– получение статистических данных из «Заголовков» и «Описаний». В них входят данные о количестве слов, о количестве различных знаков препинания, об объеме лексикона в тексте;
– обучение модели;
– вывод метрик качества обученной модели.

Для реализации вышеописанных действий использованы библиотеки pandas, numpy, sklearn, bertopic, и sentence_transformers, написанные на языке программирования Python.

```python
def _get_embeddings(self, texts):
  self.embedder = SentenceTransformer(self.embedding_model_name)

  # Явная токенизация с обработкой длинных текстов
  tokenizer = AutoTokenizer.from_pretrained(self.embedding_model_name)
  inputs = tokenizer(
      texts,
      padding=True,
      truncation=True,
      max_length=128,  # Ограничение длины
      return_tensors='pt'
  ).to(self.embedder.device)

  # Проверка индексов токенов
  if (inputs['input_ids'] >= tokenizer.vocab_size).any():
      raise ValueError("Обнаружены токены вне словаря модели!")

  return self.embedder.encode(texts, show_progress_bar=True)
```

Рис. 1. Код для векторизации текстовых данных

```python
def _extract_readability_features(self, text):
    return {
        'num_sentences': textstat.sentence_count(text),
        'num_words': textstat.lexicon_count(text),
        'text_length': len(text),
        'exclamation_count': text.count('!'),
        'question_count': text.count('?'),
        'avg_word_length': sum(len(word) for word in text.split()) / max(1, textstat.lexicon_count(text))
    }
```

Рис. 2. Код для извлечения статистических данных о текстах

```python
def transform(self, df, text_columns):
    df = df.copy()
    df[text_columns] = df[text_columns].fillna('').applymap(
        lambda x: x[:512]  # Обрезка до 512 символов
    )
    combined_text = df[text_columns].apply(lambda x: ' '.join(x), axis=1)

    # Генерация эмбеддингов
    logging.info(f"Using embedding model: {self.embedding_model_name}")
    embeddings = self._get_embeddings(combined_text.tolist())

    # Инициализация и обучение BERTopic
    logging.info("Initializing BERTopic with params: %s", self.bertopic_params)
    self.topic_model = BERTopic(
        embedding_model=self.embedder,
        **self.bertopic_params
    )

    topics, _ = self.topic_model.fit_transform(combined_text, embeddings)
    df['topic'] = topics

    # Извлечение метрик
    logging.info("Extracting readability features...")
    readability = combined_text.apply(self._extract_readability_features)
    df_readability = pd.DataFrame(list(readability))

    return pd.concat([df, df_readability], axis=1)
```

Рис. 3. Код для получения данных о темах

```python
def train_model(df,
                target_col,
                text_columns,
                categorical_cols,
                embedding_model_name=None,
                bertopic_model_params=None):
    # Инициализация Feature Engineer
    fe = RussianFeatureEngineer(
        embedding_model_name=embedding_model_name,
        bertopic_model_params=bertopic_model_params
    )

    # Преобразование данных
    df = fe.transform(df, text_columns)

    # Подготовка признаков
    numeric_features = list(df.select_dtypes(include=np.number).columns)
    numeric_features.remove(target_col)

    categorical_features = categorical_cols + ['topic']

    preprocessor = ColumnTransformer(
        transformers=[
            ('cat', OneHotEncoder(handle_unknown='ignore'), categorical_features),
            ('num', 'passthrough', numeric_features)
        ]
    )

    # Split data
    X = df.drop(columns=[target_col, 'IssueName', 'IssueDescription'])
    y = df[target_col]
    X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)

    # Пайплайн
    model = Pipeline([
        ('preprocessor', preprocessor),
        ('regressor', RandomForestRegressor(
            n_estimators=150,
            max_depth=12,
            random_state=42,
            n_jobs=-1
        ))
    ])

    # Training
    logging.info("Training model...")
    model.fit(X_train, y_train)
```

Рис. 4. Код для обучения регрессионной модели

Результаты, полученные в процессе применения данных моделей для создания регрессионной модели, представлены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Результаты применения LLM-моделей

Модель	R^2	MAE	MSE	Точность, %	Число выделенных тем
DeepPavlov/rubert-base-cased	0.8	12.37	11175.82	54.99	17
cointegrated/rubert-tiny	0.75	12.55	13626.51	32.51	138
ai-forever/ruRoberta-large	0.63	13.05	20249.52	33.33	70
ai-forever/ruBert-large	0.68	12.93	17801.46	33.26	138
ai-forever/ruBert-base	0.81	12.04	10596.32	32.46	162

Лучшие результаты в задаче регрессии показала DeepPavlov/rubert-base-cased. Она превзошла даже более крупные модели (например, ruRoberta-large) благодаря балансу между размером и эффективностью, а также обучением на более релевантных данных.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что качество регрессии в рамках данной задачи зависит от оптимального размера модели (base-модели эффективнее large/tiny) и релевантности обучающих данных. Слишком большие модели склонны к переобучению, а tiny-версии не хватает сложности для семантического анализа. Также важна специализация данных: модели, обученные на технических текстах, лучше генерируют эмбеддинги для описаний ПО. Качество NER и число тем слабо влияют на регрессию: ключевое – способность сохранять смысловую структуру текста в эмбеддингах и сужать количество возможных тем, что достигается умеренной архитектурой и подходящими обучающими данными.

Список используемых источников

1. BERTopic: topic modeling with transformers // GitHub. URL: https://github.com/MaartenGr/BERTopic (дата обращения 24.03.2025).

2. Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space // Proc. ICLR, 2013. URL: https://arxiv.org/abs/1301.3781 (дата обращения 24.03.2025).

3. Devlin J., Chang M. W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // arXiv, 2018. URL: https://arxiv.org/abs/1810.04805 (дата обращения 24.03.2025).

4. Reimers N., Gurevych I. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks // arXiv, 2019. URL: https://arxiv.org/abs/1908.10084 (дата обращения 24.03.2025).

5. Manning C.D., Raghavan P., Schütze H. Introduction to Information Retrieval. Cambridge: Cambridge University Press, 2008/ URL: https://nlp.stanford.edu/IR-book/ (дата обращения 24.03.2025).

COMPARATIVE ANALYSIS OF LANGUAGE MODELS FOR VECTORIZATION AND CLUSTERING OF TEXT TASKS IN SOFTWARE DEVELOPMENT

Filippov F., Tsyvarev I.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The article presents a comparative study of modern language models applied to the vectorization and clustering of textual data in software development tasks. It examines the advantages and limitations of various models, evaluates their performance using quality metrics such as R^2, MAE, MSE, and RMSE, and demonstrates how vectorized representations enhance the predictive accuracy of regression models in estimating labor costs. The study details the experimental setup, including data preprocessing, topic modeling with BERTopic, and the extraction of statistical features from task descriptions.

Key words: *Language models, text vectorization, text clustering, labor costs, natural language processing*

УДК 514.182.2
ГРНТИ 14.01.85

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ РАБОТ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ

А. А. Шиян, П. А. Шиян

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Образовательные процессы нашего времени требуют современных инструментов оценки знаний студентов, особенно в технических дисциплинах, таких как инженерная и компьютерная графика. Ручная проверка чертежей, 3D-моделей и графических схем требует значительных временных затрат и подвержена субъективности. Автоматизация проверки работ по инженерной и компьютерной графике позволяет значительно ускорить процесс оценки, минимизировать ошибки и повысить объективность оценивания.

инженерная и компьютерная графика, ИКГ, проверка чертежей, тестирование, автоматизация контроля знаний.

Современные образовательные процессы требуют эффективных инструментов оценки знаний студентов, особенно в технических дисциплинах, таких как инженерная и компьютерная графика. Ручная проверка чертежей, 3D-моделей и графических схем требует значительных временных затрат и подвержена субъективности. Автоматизация проверки работ в этой области позволяет значительно ускорить процесс оценки, минимизировать ошибки и повысить объективность оценивания [1].

1. Проблемы традиционной проверки графических работ.

При ручной проверке студенческих работ по инженерной и компьютерной графике преподаватели сталкиваются с рядом сложностей:

– большой объем работ, в учебных заведениях количество студентов, изучающих графические дисциплины, постоянно растет, что увеличивает нагрузку на преподавателей;
– человеческий фактор, оценка может быть субъективной, зависеть от личного восприятия преподавателя или его усталости;
– сложность выявления ошибок, некоторые мелкие ошибки в построениях, масштабе или оформлении могут быть незаметны при быстрой проверке;
– долгое время проверки, особенно актуально при оценке сложных 3D-моделей и схем.

Решением этих проблем становится внедрение автоматизированных систем проверки, которые способны анализировать чертежи и модели по заранее заданным критериям.

2. Метод автоматизации проверки с использованием систем дистанционного обучения Moodle и геометрического моделирования Симплекс.

Во многих учебных заведениях для обучения и тестирования учащихся используется системы дистанционного обучения – модульной объектно-ориентированной динамической учебной среды Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment). В этой связи, автоматизацию проверки работ по инженерной и компьютерной графике предлагается осуществлять на базе Moodle, с использованием системы геометрического моделирования Симплекс. Moodle предоставляет возможность гибко настраивать проверочные тесты, Симплекс – генерировать для неё графический контент с вариантами правильных не правильных ответов. Из одного правильного чертежа детали, с помощью Симплекса, можно создать ряд изображений деталей с типичными ошибками.

Построим чертеж с помощью симплекса. Модифицируя правильный чертеж, добавим типичные ошибки. Предложим варианты ответа, что упростит проверку. Рассмотрим пример: Задание: Дан чертеж. 2 проекции. Необходимо из списка вариантов выбрать правильную проекцию

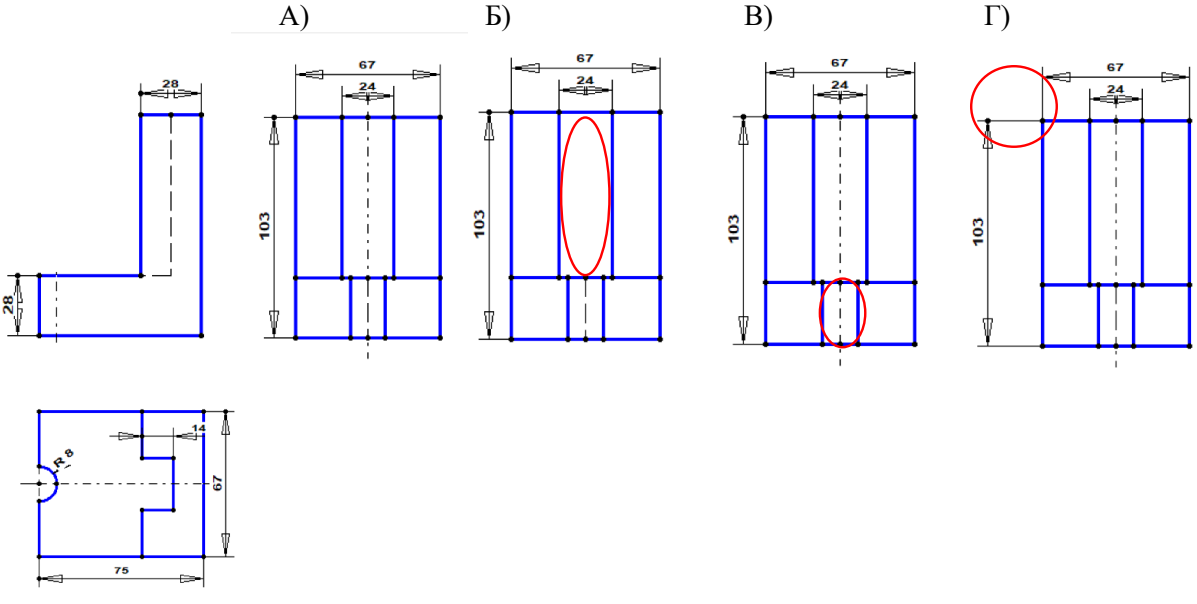


Рисунок 1. Пример задания с вариантами типичных ошибок

3. Преимущества автоматизации проверки.

Скорость проверки. Системы автоматического анализа позволяют сократить время оценки в десятки раз по сравнению с ручной проверкой.

Объективность. Алгоритмы анализируют графические работы по заданным критериям, исключая субъективность оценивания.

Снижение нагрузки на преподавателей. Освобождает время для индивидуальной работы со студентами, детального объяснения ошибок и улучшения учебного процесса.

Единые стандарты оценки. Позволяют гарантировать соответствие учебных работ требованиям стандартов и учебных программ.

4. Недостатки и проблемы автоматизации

Несмотря на преимущества, автоматизированные системы проверки графических работ сталкиваются с рядом ограничений:

– сложность настройки, разработка и адаптация алгоритмов требуют значительных затрат времени и ресурсов;
– ограниченность алгоритмов, некоторые виды работ (например, творческие проекты) трудно оценить автоматически;
– технические ошибки, возможны сбои при обработке данных, особенно если программа не учла все возможные вариации выполнения задания.

5. Перспектива автоматизированной проверки графических работ

В перспективе ожидается развитие следующих направлений:

– интеграция с облачными технологиями, позволит проверять работы удаленно, используя мощные вычислительные ресурсы;
– улучшение алгоритмов машинного обучения, повышение точности анализа графических работ с учетом стилистики и логики построения;
– разработка интуитивно понятных интерфейсов, позволит студентам самостоятельно анализировать ошибки и исправлять их без участия преподавателя.

Автоматизация проверки работ по инженерной и компьютерной графике является важным направлением в развитии образовательных технологий. Она позволяет сократить время на оценку, повысить объективность проверки и снизить нагрузку на преподавателей.

Список используемых источников

1. Столбова И. Д. О создании учебно-методического комплекса для сопровождения графической подготовки студентов / И. Д. Столбова [и др.] // Геометрия и графика. М.: ИНФРА-М. 2015. Т. 3. Вып. 2. С. 29-37.

AUTOMATION OF ENGINEERING AND COMPUTER GRAPHICS WORK VERIFICATION

Shiyan A., Shiyan P.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

In the current educational processes, it is essential to utilise contemporary tools for evaluating students' knowledge, particularly within technical disciplines such as engineering and computer graphics. Manual verification of drawings, 3D models and graphical schematics is both time-consuming and subjective. The automation of the examination process for engineering and computer graphics papers has been demonstrated to engender significant acceleration in the assessment process, whilst concomitantly reducing errors and enhancing objectivity.

Key words: *engineering and computer graphics, ECG, drawing verification, testing, automation of knowledge assessment*

УДК 514.182.2
ГРНТИ 14.01.85

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИНТЕЗА ВАРИАНТОВ ЗАДАНИЙ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ

А. А. Шиян, П. А. Шиян

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Дисциплина «Инженерная и компьютерная графика» входит в учебные планы всех технических специальностей. Для обеспечения должного уровня освоения дисциплины необходимо обеспечить высокую вариативность учебных заданий. Очевидно, что задания по ИКГ характеризуются графическим содержанием, что представляет значительную сложность с точки зрения их модификации. В связи с этим возникает существенная проблема генерации значительного количества новых вариантов задач, характеризующихся измененными параметрами.

инженерная и компьютерная графика, ИКГ, чертеж

Инженерная и компьютерная графика (ИКГ) – дисциплина, которую изучают во многих современных образовательных программах, связанных с инженерными специальностями.

Образовательные процессы нашего времени требуют современных инструментов оценки знаний студентов, особенно в технических дисциплинах, таких как инженерная и компьютерная графика. Ручная проверка чертежей, 3D-моделей и графических схем требует значительных временных затрат и подвержена субъективности. Автоматизация проверки работ по инженерной и компьютерной графике позволяет значительно ускорить процесс оценки, минимизировать ошибки и повысить объективность оценивания.

Автоматизация образовательного процесса стала важным направлением развития современных технологий [1]. В частности, автоматизация синтеза вариантов заданий по инженерной и компьютерной графике имеет значительный потенциал в повышении эффективности обучения. Однако этот процесс сопровождается рядом сложностей, требующих глубокого анализа и поиска решений.

1. Сложность алгоритмов генерации заданий.

Создание алгоритмов, способных автоматически генерировать задания с учетом педагогических и инженерных требований, является серьезной за-

дачей. Инженерная графика включает в себя различные аспекты, такие как проекционные чертежи, 3D-моделирование и визуализация. Для каждого типа заданий необходимо разрабатывать уникальные алгоритмы, которые должны обеспечивать:

– корректность геометрических построений;
– соответствие заданий уровню подготовки студентов;
– вариативность результатов для предотвращения списывания.

Разработка таких алгоритмов требует значительных вычислительных мощностей и комплексных математических моделей. Одной из главных проблем является учет множества возможных параметров задания и их влияние на конечный результат. Например, при создании чертежей необходимо учитывать взаимное расположение объектов, их размеры и допустимые допуски. В случае 3D-моделирования сложность возрастает за счет необходимости построения поверхностей, учета перспективы и совместимости с различными форматами файлов.

Еще одной проблемой является обеспечение логической последовательности заданий. Алгоритмы должны учитывать уровень подготовки студента, адаптируя сложность заданий по мере их выполнения. Это требует использования методов машинного обучения и искусственного интеллекта, которые могут анализировать ошибки студентов и формировать персонализированные задачи.

2. Обеспечение уникальности и разнообразия заданий.

Автоматически сгенерированные задания должны быть разнообразными, чтобы исключить возможность повторения решений у разных студентов. Однако случайная генерация параметров часто приводит к некорректным или слишком сложным заданиям. Для решения этой проблемы требуется внедрение адаптивных алгоритмов, учитывающих:

– базу допустимых параметров;
– уровень сложности в зависимости от учебной программы;
– педагогические принципы построения учебного материала.

Обеспечение уникальности заданий возможно за счет генерации вариативных условий, включающих изменение размеров, углов, координат объектов и других параметров. При этом задания должны оставаться сопоставимыми по сложности, чтобы не возникало значительного разброса в их уровне.

Кроме того, алгоритмы генерации должны обеспечивать равномерное распределение типов заданий, чтобы студенты получали сбалансированный

набор упражнений, охватывающих различные темы курса. Например, система должна учитывать, чтобы в одном варианте присутствовали как задания на построение чертежей, так и на создание 3D-моделей.

Еще одним важным аспектом является предотвращение предсказуемости заданий. Если система создает варианты по ограниченному числу шаблонов, студенты могут заранее подготовить решения, что снижает обучающий эффект. Для борьбы с этим можно применять стохастические алгоритмы, комбинирующие различные элементы заданий случайным образом в пределах допустимых значений.

3. Автоматическая проверка решений.

Проверка результатов выполнения заданий по инженерной графике является сложной задачей. В отличие от текстовых ответов или числовых данных, графические решения могут иметь множество правильных вариантов. Автоматическая проверка должна учитывать:

– точность выполнения чертежей и моделей;
– соответствие геометрических конструкций исходным условиям;
– учет допусков и возможных вариаций.

Для этого могут использоваться методы компьютерного зрения и сравнения параметрических моделей. Применение алгоритмов анализа изображений, например, с использованием технологий машинного обучения, позволяет автоматически определять соответствие студенческих работ заданным параметрам. Однако такие методы требуют создания обширных баз данных эталонных решений и значительных вычислительных ресурсов.

4. Интеграция с образовательными платформами

Большинство учебных заведений используют системы управления обучением (LMS - Learning Management System), такие как Moodle, Blackboard и другие. Автоматизированные системы генерации и проверки заданий должны быть совместимы с такими платформами. Основные проблемы при интеграции включают:

– форматы файлов, используемых в системах инженерной графики;
– требования к хранению и передаче данных;
– удобство использования интерфейса для студентов и преподавателей.

Интеграция требует разработки унифицированных API и адаптации форматов файлов, чтобы задания и результаты могли корректно передаваться между системой автоматизации и LMS. Важно также учитывать вопросы безопасности данных и защиты интеллектуальной собственности.

Предлагаемое решение вышеперечисленных проблем состоит в использовании системы геометрического моделирования Симплекс. Программа позволяет задать связи между видами детали и гибко, растягивая и сжимая мышкой, изменять её параметры на чертеже, создавая на основе одного учебного задания множество вариантов, рис 1.

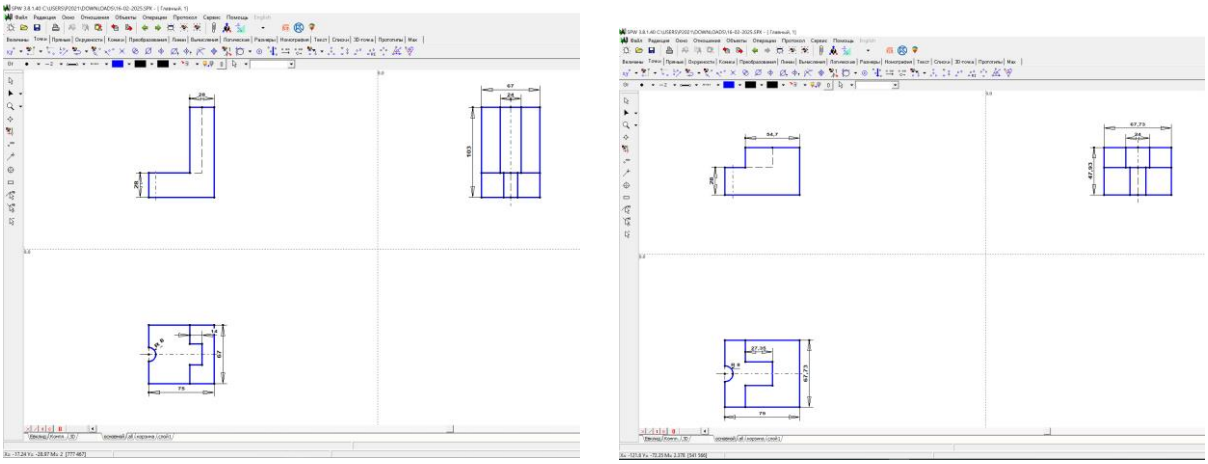


Рис. 1. Два варианта одной и той же детали, созданные в системе геометрического моделирования Симплекс

Автоматизация синтеза вариантов заданий по инженерной и компьютерной графике представляет собой перспективное направление, способное значительно упростить процесс обучения и проверки знаний.

Список используемых источников

1. Волошинов Д. В., Щюр С. Ю. Генеративное проектирование объектов с учетом основ геометрического моделирования // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ. 2023. Т. 2. С. 509–513.

ISSUES OF AUTOMATION OF SYNTHESIS IN ENGINEERING AND COMPUTER GRAPHICS TASK VARIANTS

Shiyan A., Shiyan P.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

The discipline of Engineering and Computer Graphics (ECG) is a component of the curricula of all technical specialities. In order to ensure the proper level of mastery of the discipline, it is necessary to provide a high variability of training tasks. It is evident that the ECG tasks are characterised by graphical content, which poses a significant challenge in terms of modification. Consequently, this gives rise to a substantial issue concerning the generation of a substantial number of new task variants that are characterised by modified parameters.

Key words: *the disciplines of engineering and computer graphics, ECG, drawing*

УДК 004.7:004.422.8
ГРНТИ 28.29.01

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗАДЕРЖКАМИ В 5G-СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Н. Эль Сабаяр Шевченко

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Статья посвящена анализу применения больших языковых моделей (LLM) для управления задержками в 5G-сетях. В условиях растущего числа подключённых устройств и разнообразия трафика традиционные методы управления ресурсами становятся малоэффективными. LLM позволяют анализировать контекст данных, прогнозировать нагрузку и динамически распределять ресурсы сети, минимизируя задержки для критически важных запросов. В статье раскрыты практические примеры использования LLM в контексте 5G-сетей. Показано, как интеллектуальные алгоритмы на основе LLM повышают эффективность работы 5G-сетей, обеспечивая стабильную связь и снижая нагрузку на инфраструктуру.

LLM, 5G-сети, теория множеств, интеллектуальное управление, сервисы

Сетевые технологии пятого поколения (5G) открывают новые возможности для связи, обеспечивая высокую пропускную способность, низкую задержку и возможность подключения огромного числа устройств. Однако с увеличением числа пользователей и объёмов трафика в сети 5G возникает необходимость более эффективного управления ресурсами и минимизации задержек, особенно для критически важных приложений, таких как автономные автомобили, медицинские системы, и другие.

Управление задержками в сетях 5G представляет собой сложную задачу, поскольку задержки могут варьироваться в зависимости от множества факторов, таких как нагрузка на сеть, топология сети, количество одновременно подключённых устройств, а также динамичные условия окружающей среды. Традиционные методы управления ресурсами, основанные на фиксированных алгоритмах и правилах, не всегда способны эффективно справляться с этими задачами. Данные методы зачастую не учитывают изменяющиеся условия в реальном времени.

В ответ на эти вызовы в последние годы активно разрабатываются методы, основанные на искусственном интеллекте (ИИ) и машинном обучении. Одним из перспективных направлений является использование боль-

ших языковых моделей (LLM) для прогнозирования задержек и принятия оптимальных решений о перераспределении ресурсов сети. Эти модели, обученные на больших объёмах данных, способны анализировать сложные зависимости в работе сети и делать предсказания, которые могут значительно улучшить её работу [1][2].

Моделирование управления задержками через множества в контексте LLM представляет собой новый подход, в котором множество состояний и действий сети формируют основу для динамичного прогнозирования и адаптивного управления. В отличие от традиционных методов, LLM позволяют учитывать более широкий контекст и прогнозировать поведение сети в условиях неопределённости, что особенно важно в условиях высокой нагрузки и нестабильных условий.

Данная статья посвящена разработке формальных моделей управления задержками с использованием теории множеств и LLM, а также анализу преимуществ этого подхода для сетей 5G. Задержка передачи данных является ключевым параметром в 5G-сетях, влияющим на работу критически важных сервисов, таких как:

– автономный транспорт (V2X);
– телемедицина;
– виртуальная и дополненная реальность;
– промышленный Интернет вещей (IIoT).

Традиционные методы управления ресурсами, основанные на статическом распределении, не всегда способны эффективно адаптироваться к динамическим изменениям нагрузки. Возникает необходимость в интеллектуальных алгоритмах, способных предсказывать и управлять задержками в режиме реального времени.

Большие языковые модели (LLM), такие как GPT, BERT и их специализированные вариации, обладают мощными возможностями анализа и прогнозирования. Их применение в 5G-сетях включает:

– анализ паттернов сетевого трафика;
– предсказание нагрузки на сеть;
– маршрутизацию пакетов данных;
– интеллектуальное распределение ресурсов.

LLM могут анализировать и обрабатывать большие массивы данных в реальном времени, предсказывать изменения состояния сети и выдавать рекомендации по управлению ресурсами на основе контекстной информации.

Множество состояний сети S и множество возможных действий A могут быть предприняты для управления задержками. Тогда вероятность перехода сети из состояния s ∈S в состояние s' ∈S при выполнении действия a ∈A можно выразить как P(s^' | s,a) – вероятность того, что сеть перейдёт в состояние s', при состоянии s и выполнения действия a, S – множество состояний сети (например, высокая загрузка, средняя нагрузка, нормальный режим), A – множество возможных управляющих действий (перераспределение ресурсов, переключение каналов, приоритезация трафика).

LLM могут прогнозировать P(s^' | s,a), используя исторические данные и анализ текущего состояния сети, что позволяет оператору принимать решения в реальном времени.

Пусть множество состояний сети S разбито на подмножества в зависимости от уровня загруженности и качества соединения. Введём множество состояний с приемлемыми характеристиками задержек:

$$S^{\wedge}{}' = \{ s^{\wedge}{}' \in S \mid \exists a \in A, P(s^{\wedge}{}' \mid s,a) > \theta \},$$

где $S^{\wedge}{}'$ – множество состояний, удовлетворяющих требованиям по задержкам, θ – пороговая вероятность успешного перехода в приемлемое состояние.

Также рассмотрим множество допустимых действий $A^{\wedge}{}' \subseteq A$, таких что:

$$A^{\wedge}{}' = \{ a \in A \mid P(s^{\wedge}{}' \mid s,a) > \theta, \forall s^{\wedge}{}' \in S' \},$$

где множество $A^{\wedge}{}'$ – управляющие действия, приводящие сеть с высокой вероятностью в желаемое состояние. Таким образом, задача управления сводится к выбору a ∈A', максимизирующего вероятность нахождения системы в допустимом состоянии.

Также стоит выделить разбиение состояний сети S на классы эквивалентности по критерию задержек:

$$S = S_low \cup S_(medium) \cup S_(high),$$

где S_low – состояния с низкими задержками, S_(medium) – состояния со средними задержками, S_(high)– состояния с высокими задержками.

Целью управления является минимизация вероятности попадания в S_(high) и увеличение вероятности переходов в S_low при выборе оптимального a ∈A'. LLM помогают динамически определять такие управляющие воздействия на основе анализа истории состояний сети.

Внедрение специальных механизмов обучения LLM на специфичных для 5G-сетей датасетах позволяет повысить точность прогнозирования и

улучшить адаптацию к динамическим изменениям сети. Одним из перспективных направлений является использование гибридных моделей, которые совмещают классические алгоритмы управления сетями с возможностями генеративных моделей [3].

Применение больших языковых моделей в управлении задержками 5G-сетей открывает новые возможности для повышения эффективности работы сетевой инфраструктуры. Использование LLM позволяет динамически адаптировать сеть к изменяющимся условиям, минимизировать задержки и обеспечить стабильность соединения для критически важных сервисов.

Предложенная формализация на основе теории множеств делает процесс принятия решений прозрачным и интуитивно понятным: LLM анализирует состояние сети, выбирает вероятностное распределение действий и помогает находить наилучшее решение. Такой подход упрощает интеграцию интеллектуального управления в реальную инфраструктуру 5G.

Перспективы дальнейших исследований включают разработку специализированных архитектур LLM, адаптированных под сетевую сферу, а также расширение возможностей распределенного обучения для минимизации вычислительных затрат. Кроме того, актуальными остаются вопросы обеспечения безопасности и устойчивости таких систем к потенциальным кибератакам.

В данной статье рассмотрено использование больших языковых моделей для интеллектуального управления задержками в 5G-сетях. Представлена математическая формализация управления состояниями сети с учётом вероятностей переходов. Применение LLM позволяет повысить адаптивность сети, улучшить качество соединения и снизить нагрузку на инфраструктуру.

Список используемых источников

1. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Девяткин Е. Е. Применение технологий искусственного интеллекта в сетях 5G // Первая миля. 2023. № 3. С. 52–60.

2. Исобоев Ш. И., Халматов Б. М., Коптев В. А. Оценка перспектив развития и применения искусственного интеллекта в мобильной связи 5-го и 6-го поколений // Вестник Московского университета. Серия: Радиофизика и коммуникации. 2023. Т. 25, № 4. С. 123–130.

3. Тихвинский В. О., Девяткин Е. Е., Савочкин А. А., Новикова Т. В. Использование технологий искусственного интеллекта для анализа сетевых данных в базовой сети 5G // Современные проблемы телекоммуникаций. 2022. Т. 17. № 6. С. 72–80.

INTELLIGENT DELAY MANAGEMENT IN 5G NETWORKS USING LARGE LANGUAGE MODELS

El Zabayar Shevchenco N.
The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications

This article is dedicated to the analysis of the application of large language models (LLMs) for delay management in 5G networks. In the context of the growing number of connected devices and diverse traffic, traditional resource management methods become ineffective. LLMs allow for analyzing data context, predicting load, and dynamically distributing network resources, minimizing delays for critical requests. The article presents practical examples of using LLMs in the context of 5G networks. It demonstrates how intelligent algorithms based on LLMs enhance the performance of 5G networks, ensuring stable communication and reducing infrastructure load.

Key words: *LLMs, 5G networks, set theory, intelligent management, services*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

АБРАМОВА
Нина Ивановна — научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, HIAbram@yandex.ru

АКОПЯН
Левон Владимирович — младший научный сотрудник Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, azarALV@yandex.ru

АКСЕНОВА
Любовь Евгеньевна — научный сотрудник ООО «Пространство интеллектуальных решений», младший научный сотрудник Кубанского государственного технологического университета, axenovalubov@gmail.com

АЛИМОВ
Александр Леонидович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, aalimov.al@net.sut.ru

АЛЛЕНОВ
Денис Сергеевич — начальник группы Департамента информационных систем Министерства обороны российской Федерации, соискатель ученой степени кандидата наук Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, guritt_23@mil.ru

АЛЬ-КЕРЕА
Захраа Ахмед — аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, yasir.hay@sut.ru

АНТИПИН
Борис Маврович — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, antipin.bm@sut.ru

АНЬШАКОВ
Артем Евгеньевич — студент группы ИСМ-31з Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, anshakov.ae@sut.ru

БАГАЕВ
Егор Сергеевич — аспирант кафедры беспроводных технологий и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, bagaev.es@sut.ru

БАТАЛИН Никита Сергеевич — аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, batalin.ns@sut.ru

БАТЕНКОВ Кирилл Александрович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизации систем вычислительных комплексов Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, pustur@yandex.ru

БЕЛОГУБКИН Ярослав Юрьевич — начальник лаборатории научно-технического комплекса АО «НИИ телевидения», yaroslav.belogubkin.96@yandex.ru

БЕРЕЗКИН Александр Александрович — кандидат технических наук, доцент кафедры программной инженерии и вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, berezkin.aa@sut.ru

БЕЧИН Дмитрий Николаевич — заместитель начальника научно-технического комплекса АО «НИИ телевидения», dimabechin@yandex.ru

БОБРОВСКИЙ Вадим Игоревич — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры программной инженерии и вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, bobrovskii.vi@sut.ru

БОБРОВСКИЙ Виталий Евгеньевич — оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, cool.rinet@yandex.ru

БОВШИК Павел Павлович — аспирант кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, bovshik.pp@sut.ru

БОНДАРЕНКО Игорь Борисович — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, bondarenko.ib@sut.ru

БОРОДКО Александр Владимирович — кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, borodko.av@sut.ru

БОТАЛОВ Андрей Алексеевич — аспирант кафедры информатики и компьютерного дизайна Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, botalov.aa@sut.ru

БОЯШОВА Елена Петровна — старший преподаватель кафедры информатики и компьютерного дизайна Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, boyashova.ep@sut.ru

БРИТАЕВА Ольга Хаджи-Муратовна — старший преподаватель кафедры высшей математики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, olga-britaeva.oh@sut.ru

БУЧАТСКИЙ Александр Николаевич — кандидат технических наук, директор института магистратуры, доцент кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, abuchatsky@sut.ru

БЫЛИНА Мария Сергеевна — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой оптических и квантовых систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Bylina.Maria@sut.ru

ВАСИЛЬЕВ Никита Алексеевич — кандидат технических наук, заместитель начальника отдела научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vasn2020@mail.ru

ВИКУЛОВ Антон Сергеевич — кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vikulov.as@sut.ru

ВИНОГРАДОВ Евгений Михайлович — кандидат технических наук, доцент, инженер 1 категории научно-исследовательской лаборатории радиоконтроля и электромагнитной совместимости Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vinogradov.em@sut.ru

ВИНОГРАДОВ Петр Юрьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры беспроводных технологий и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, power@sut.ru

ВИТКЕВИЧ Наталья Львовна — научный сотрудник Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vasn2020@mail.ru

ВЛАДИМИРОВ Сергей Сергеевич — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vladimirovs@sut.ru

ВЛАДИМИРОВ Иван Александрович — инженер 1 категории ООО «Специальный Технологический Центр», vasn2020@mail.ru

ВЛАДИМИРОВА Елена Сергеевна — старший преподаватель кафедры информационных технологий и компьютерных систем Севастопольского государственного университета, ESVladimirova@sevsu.ru

ВЛАДЫКО Андрей Геннадьевич — кандидат технических наук, доцент, декан факультета радиоэлектронных систем и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vladyko@sut.ru

ВОЛОШИНОВ Денис Вячеславович — доктор технических наук, доцент кафедры информатики и компьютерного дизайна Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, voloshinov.dv@sut.ru

ВОРОБЬЕВ Павел Владимирович — младший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, gsg.1991@mail.ru

ВОРОНЧУК Виктор Иосифович — преподаватель кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, sprintnsb@mail.ru

ГАЙДАШ Андрей Алексеевич — кандидат физико-математических наук, доцент и ведущий научный сотрудник Научно-образовательного центра фотоники и оптоинформатики Университета ИТМО, andrewdgk@gmail.com

ГАЛУШКО Иван Витальевич — младший научный сотрудник Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, ivan16111999@yandex.ru

ГАРМАЕВА Эржена Владимировна — старший преподаватель кафедры телекоммуникационных сетей Бурятского института инфокоммуникаций Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики, erzhena.garmaeva51@gmail.com

ГВОЗДКОВ Игорь Вячеславович — старший преподаватель кафедры систем обработки данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, gvozdkov.iv@sut.ru

ГОЛЬДШТЕЙН Александр Борисович — доктор технических наук, профессор кафедры инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, goldshtein.ab@sut.ru

ГОРЛОВ Николай Ильич — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры фотоники в телекоммуникациях Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики, gorlovnik@yandex.ru

ГОРЫНЦЕВ Андрей Арсеньевич — аспирант кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, goryntsev.aa@sut.ru

ГРИБОВСКИЙ Анатолий Александрович — старший научный сотрудник Военной академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vasn2020@mail.ru

ГРОМОВ Владислав Витальевич — кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и компьютерного дизайна Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, gromov2.vv@sut.ru

ГУБИН Александр Николаевич — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, gubin.an@sut.ru

ГУМИНСКИЙ Олег Андреевич — аспирант кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, guminskii.oa@sut.ru

ГУНИНА Елена Викторовна — кандидат педагогических наук, доцент кафедры информатики и компьютерного дизайна Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, gunina.ev@sut.ru

ГУСЕЛЬНИКОВ Михаил Сергеевич — аспирант Научно-образовательного центра фотоники и оптоинформатики Университета ИТМО, msguselnikov@itmo.ru

ГУТАРОВ Владислав Александрович — оператор научной роты Военной академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, gutarov2003@gmail.com

ГУЩИН Владимир Евгеньевич — оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, wolfhabitss@gmail.com

ДАВЫДОВА Екатерина Викторовна — старший преподаватель кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, davydova.ev@sut.ru

ДВОРНИКОВ Сергей Викторович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, practicdsv@yandex.ru

ДЕНИСОВ Артем Руфимович — доктор технических наук, профессор кафедры инновационного менеджмента Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), iptema@yandex.ru

ДЕНИСОВА Юлия Вячеславовна — ассистент кафедры систем обработки данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, denisova.uv@sut.ru

ДМИТРИЕВА Оксана Михайловна — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, dmitrieva.om@sut.ru

ДОМБРОВСКИЙ Ярослав Аркадьевич — начальник факультета автоматизированных систем управления Военной академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, shchuk@rambler.ru

ДУНАЙЦЕВ Роман Альбертович — кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, roman.dunaytsev@sut.ru

ДЮБОВ Андрей Сергеевич — кандидат технических наук, доцент кафедры оптических и квантовых систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, dubov.andrey@sut.ru

ЕВДОКИМОВА Ольга Геннадьевна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электрической связи Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, evdokimova@pgups.ru

ЕЛАГИН Василий Сергеевич — кандидат технических наук, и. о. декана факультета инфокоммуникационых сетей и систем, доцент кафедры инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, v.elagin@sut.ru

ЕЛИСЕЕВ Сергей Михайлович — аспирант кафедры инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, eliseev.sm@sut.ru

ЕРМАКОВ Алексей Валентович — кандидат экономических наук, доцент, начальник научно-технического отдела Филиала НИЦ Телеком в г. Санкт-Петербурге, ermakov-it@yandex.ru

ЕФИМЕНКО Анастасия Михайловна — преподаватель колледжа телекоммуникаций Московский технический университет связи и информатики, efimenko000@mail.ru

ЖАРАНОВА Анастасия Олеговна — старший преподаватель кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, zharanova.ao@sut.ru

ЖДАНОВА Инна Михайловна — адъюнкт научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, zhdanova.im@mail.ru

ЗАЙЦЕВА Зинаида Викторовна — кандидат технических наук, доцент кафедры электроники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича zaitch@sut.ru

ЗЕНЕВИЧ Андрей Олегович — доктор технических наук, профессор, ректор Белорусской государственной академии связи, a.zenevich@bsac.by

ЗИКРАТОВ Игорь Алексеевич — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, zikratov.ia@sut.ru

ЗИМИН Андрей Владимирович — старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, zimin@sut.ru

ИБРАГИМОВ Роман Захирович — кандидат технических наук, доцент кафедры фотоники Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики, ibragimov.nsk@gmail.com

ИВАНОВ Василий Геннадиевич — доктор военных наук, председатель Военно-научного комитета Главного управления связи Вооруженных Сил Российской Федерации, доцент, guritt_23@mil.ru

ИВАНОВ Валентин Яковлевич — доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Института ядерной физики имени Г. И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, vivanov.48@mail.ru

ИЛЯСОВ Павел Александрович — оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, 09mmnn@gmail.com

КАМАРТИНА Наталия Михайловна — кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kamartina.nm2002@sut.ru

КАНАЕВ Андрей Константинович — доктор технических наук, профессор кафедры электрической связи Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, kanaevak@mail.ru

КАПИТОНЕНКО Виктория Викторовна — ассистент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kapitonenko.vv@sut.ru

КИРИЧЕК Руслан Валентинович — доктор технических наук, профессор, ректор Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kirichek@sut.ru

КИСЕЛЕВ Алексей Донисла́вович — доктор физико-математических наук, профессор Научно-образовательного центра фотоники и оптоинформатики, главный научный сотрудник лаборатории квантовых коммуникаций Университета ИТМО, adkiselev@itmo.ru

КИСЛЯКОВ Сергей Викторович — кандидат технических наук, доцент кафедры инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kislyakov@sut.ru

КНИГИНИЦКИЙ Егор Игоревич — аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kniginickii.ei@sut.ru

КОВАЛГИН Юрий Алексеевич — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kowalgin@sut.ru

КОВАЛЕВ Игорь Станиславович — кандидат военных наук, доцент, доцент 31-й кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, p_oleg99@mail.ru

КОВАЧ Дмитрий Витальевич — оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, ermak5.ok@mail.ru

КОЗЛОВ Андрей Алексеевич — специалист ОРПО АО НИИ «Рубин», andrey.kozlov.01@inbox.ru

КОЗЛОВА Ольга Александровна — старший преподаватель кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ius@sut.ru

КОЗЛОВА Людмила Петровна — кандидат технических наук, доцент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ius@sut.ru

КОЗУБОВ Антон Владимирович — кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Научно-образовательного центра фотоники и оптоинформатики Университета ИТМО, kozubov.anton@gmail.com

КОМАРОВ Иван Ильич — аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, komarov1.ii@sut.ru

КОНСТАНТИНОВ Сергей Анатольевич — кандидат технических наук, начальник отдела научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vitalek702@gmail.com

КОРНЮШКИН Дмитрий Александрович — аспирант кафедры инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kornushkin.da@sut.ru

КОСОВ Павел Валерьевич — старший преподаватель кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kosov.pv@sut.ru

КОЧЕРГИНА Ольга Викторовна — кандидат технических наук, заведующий кафедрой радио и информационных технологий Белорусской государственной академии связи, o.kochergina@bsac.by

КРАСОВ Андрей Владимирович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой защищенных систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, krasov.av@sut.ru

КРИВОВ Олег Анатольевич — кандидат военных наук, ведущий научный сотрудник НИО АО НИИ «Рубин», krivov@rubin.-spb.ru

КРЫЛОВ Андрей Альбертович — кандидат технических наук, доцент кафедры инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича krylov.aa@sut.ru

КРЫЛОВ Степан Евгеньевич — аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, krylov.se@sut.ru

КУДРЯВЦЕВА Юлия Александровна — младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, Zhule4ka16@mail.ru

КУЗНЕЦОВА Ольга Борисовна — кандидат экономических наук, доцент кафедры судовождения Мурманского арктического университета, kuznetsovaob@mauniver.ru

КУЗЬМИНА Дарья Денисовна — аспирант кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kuzmina.dd@sut.ru

КУЗЬМИНА Елена Валентиновна — преподаватель Архангельского колледжа телекоммуникаций им. Б. Л. Розинга, kuzmina@arcotel.ru

КУКУНИН Дмитрий Сергеевич — кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kukunin.ds@sut.ru

КУНГУРЦЕВ Сергей Геннадьевич — оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, evest197@yandex.ru

ЛАБКОВСКАЯ Римма Яновна — кандидат технических наук, доцент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, labkovskaia.ria@sut.ru

ЛАУТА Олег Сергеевич — доктор технических наук, доцент, начальник научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vasn2020@mail.ru

ЛЕЩИНСКИЙ Богдан Сергеевич — кандидат технических наук, начальник лаборатории научного исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, dnr_1910@mail.ru

ЛИКАРЬ Александр Иванович — старший преподаватель кафедры систем обработки данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, likar.ai@sut.ru

ЛИКОНЦЕВ Алексей Николаевич — кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Likontsev.an@sut.ru

ЛИТВИНОВ Владислав Леонидович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича vlitvinov@sut.ru

ЛОСЕВ Арсений Павлович — аспирант кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, aplosev@mail.ru

ЛУЦЕНКО Михаил Николаевич — магистрант группы ИКТС-33м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, lutsenko.mn@sut.ru

ЛЫСЕНКОВ Юрий Николаевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vasn2020@mail.ru

ЛЯЩУК Михаил Зиновьевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, HIAbram@yandex.ru

МАКОГОН Василий Петрович — доктор технических наук, старший научный сотрудник Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, mak229@rambler.ru

МАКОЛКИНА Мария Александровна — доктор технических наук, заведующий кафедрой инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, makolkina.ma@sut.ru

МАНДРИЧЕНКО Анатолий Сергеевич — старший оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, anatmandri@gmail.com

МАНЦВЕТОВ Андрей Александрович — кандидат технических наук, профессор кафедры телевидения и видеотехники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), главный научный сотрудник научно-технического комплекса АО «НИИ телевидения», spmtv@yandex.ru

МАТЮХИНА Татьяна Владимировна — кандидат технических наук, доцент, заместитель декана факультета радиоэлектронных систем и робототехники по учебной работе Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, rsr@sut.ru

МЕШАЛКИН Валентин Андреевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, surpesus@yandex.ru

МИРИДАШТАКИ Вахид — аспирант кафедры инновационного менеджмента Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) vahidmiri7@gmail.com

МИРОШНИЧЕНКО Георгий Петрович — доктор физико-математических наук, профессор института Высшей инженерно-технической школы Университета ИТМО, gpmirosh@gmail.com

МИХАЙЛОВ Владимир Павлович — начальник отдела Департамента информационных систем Министерства обороны российской Федерации, соискатель ученой степени кандидата наук Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, guritt_23@mil.ru

МОСЕЕВ Василий Ильич — кандидат исторических наук, доцент кафедры истории и регионоведения Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, moseev.vi@sut.ru

МОШАК Николай Николаевич — доктор технических наук, доцент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, профессор кафедры информационной безопасности Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, moshak.nn@sut.ru

МУСАЕВА Татьяна Вагиф кызы — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и компьютерного дизайна Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, musaevatv@sut.ru

МУТХАННА Аммар Салех Али — доктор технических наук, профессор кафедры сети связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, muthanna.asa@sut.ru

НЕВОЛИН Максим Павлович — рядовой, оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, dli99@bk.ru

НЕГУРИЦА Артем Алексеевич — капитан, адъюнкт научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, dli99@bk.ru

НЕСТЕРОВ Сергей Александрович — кандидат технических наук, доцент Высшей школы компьютерных технологий и информационных систем Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, nesterov@spbstu.ru

НИКИТОВ Олег Игоревич — рядовой, оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, nikitov.00@mail.ru

НИКОЛАЕВА Галина Олеговна — аспирант кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, denisova.uv@sut.ru

НИКУЛИН Авксентий Сергеевич — оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, nikulin.avxentii@gmail.com

НОВИКОВ Евгений Владимирович — кандидат технических наук, доцент, директор Института современных технологий связи Белорусской государственной академии связи, e.novikov@bsac.by

НОВИКОВ Егор Анатольевич — аспирант кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, novikov.ea@sut.ru

НОГИН Сергей Борисович — кандидат технических наук, доцент, старший преподаватель кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, sprintnsb@mail.ru

ОЛИМПИЕВ Алексей Александрович — кандидат технических наук, доцент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, olimpiev@guap.ru

ОМАРОВ Эльдар Гаджиевич — студент группы ИСТ-223 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, omarov.eg@sut.ru

ОСТРОВСКИЙ Юрий Николаевич — кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vasn2020@mail.ru

ОСТРОУМОВ Олег Александрович — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры общепрофессиональных дисциплин Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, oleg-26stav@mail.ru

ПАНТЮХИН Олег Игоревич — кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, доцент кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, oipant@sut.ru

ПАРАМОНОВ Александр Иванович — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, paramonov@sut.ru

ПАРАЩУК Игорь Борисович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, shchuk@rambler.ru

ПАСКЕНОВА Айлана Улюмджиевна — техник учебной мастерской «Монтаж и измерение ВОЛС» Санкт-Петербургского колледжа телекоммуникаций им. Э. Т. Кренкеля Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича paskenova.au@sutkt.ru

ПЕЛИХ Дмитрий Александрович — аспирант кафедры информационной безопасности, ассистент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, pelih.da@sut.ru

ПЕРЕВОЗНИК Юрий Яковлевич — кандидат педагогических наук, доцент кафедры систем обработки данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, perevoznik.uy@sut.ru

ПЕСТОВ Игорь Евгеньевич — кандидат технических наук, доцент кафедры защищенных систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, pestov.ie@sut.ru

ПЕТРАКОВ Николай Витальевич — старший оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, dotaarmY24@yandex.ru

ПЕТРОВ Иван Ильич — студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, vanishivanish26@gmail.com

ПИЛИКИНА Елена Анатольевна — старший преподаватель кафедры систем автоматизации и робототехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, pilikina.ea@net.sut.ru

ПЛОТНИКОВ Павел Владимирович — кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой высшей математики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, plotnikov.pv@sut.ru

ПОДАЙКО Светлана Викторовна — студент группы ИКТС-02 Санкт-петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, podaiko.sv@sut.ru

ПОДГОРЕЦКИЙ Владимир Владимирович — ведущий инженер-программист ООО «Специальный Технологический Центр», vasn2020@mail.ru

ПОЛЯКОВ Сергей Алексеевич — магистрант группы ИКТМ-32м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, polyakov.sa@sut.ru

ПОЛЯКОВА Елена Валериевна — старший преподаватель кафедры оптических и квантовых систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, polyakova.ev@net.sut.ru

ПОСВЯЩЕННЫЙ Дмитрий Евгеньевич — аспирант кафедры автоматики и процессов управления Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), depos_dev@mail.ru

ПРАСОЛОВ Александр Александрович — кандидат технических наук, доцент кафедры беспроводных технологий и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, prasolov.aa@sut.ru

ПРОХОРОВ Кирилл Юрьевич — аспирант кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч- Бруевича, prokhorov.ky@sut.ru

ПРОШИН Федор Алексеевич — ассистент кафедры электрической связи Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, fedorproshin@gmail.com

РАКОВСКИЙ Олег Владимирович — кандидат технических наук, доцент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ius@sut.ru

РЕЗНИКОВ Богдан Константинович — старший преподаватель кафедры оптических и квантовых систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, rznkff@net.sut.ru

РЕНСКОВ Андрей Анатольевич — кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, andreyrenskov@gmail.com

РОГОЗИНСКИЙ Глеб Гендрихович — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем экологии транспортных систем Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко, gleb.rogozinsky@gmail.com

РОЩИНСКИЙ Роман Сергеевич — ассистент кафедры беспроводных технологий и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, rosh.rs@bk.ru

РУДИНСКАЯ Сабина Романовна — старший преподаватель кафедры программного обеспечения сетей телекоммуникаций Белорусской государственной академии связи, sabina.rudin@mail.ru

РЫБАКОВ Алексей Игоревич — старший преподаватель кафедры беспроводных технологий и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, rybakov.ai@sut.ru

РЯБИКОВ Дмитрий Сергеевич — аспирант кафедры беспроводных технологий и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ryabikov.ds@sut.ru

РЯБОВ Геннадий Анатольевич — старший научный сотрудник научного центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, p_oleg99@mail.ru

САМКОВ Михаил Юрьевич — ефрейтор, старший оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, samkov.misha@mail.ru

САХАРОВ Дмитрий Владимирович — кандидат технических наук, доцент кафедры защищенных систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, zss_ibks@sut.ru

САЯРКИН Леонид Андреевич — адъюнкт Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного, leonid.sayarkin@yandex.ru

СВЕТОВА Анастасия Васильевна — магистрант группы ИКТГ-34м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, svetova.av@sut.ru

СВИНЬИНА Ольга Андреевна — старший преподаватель кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, svinyina.oa@sut.ru

СЕЛЕЗНЕВ Андрей Васильевич — кандидат технических наук, начальник отдела военно-технической информации Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, andrsel@mail.ru

СЕРГЕЕВ Алексей Николаевич — старший преподаватель кафедры фотоники и линий связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, asrg@sut.ru

СЕРТАКОВ Андрей Владимирович — аспирант кафедры радиотехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, a.v.sertakov@ya.ru

СИНЮК Александр Демьянович — доктор технических наук, доцент, доцент кафедры общепрофессиональных дисциплин Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, eentrop@rambler.ru

СКОРОБОГАТОВА Светлана Алексеевна — аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, skorobogatova.sa@sut.ru

СМЕТАНИН Дмитрий Игоревич	старший оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, snit1911@inbox.ru
СМОРОДИН Геннадий Николаевич	кандидат технических наук, доцент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ius@sut.ru
СОКОЛОВ Николай Александрович	доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник инженерно-технической лаборатории Филиала НИЦ Телеком в г. Санкт-Петербурге, nicksokolov@hotmail.com
СОЛОДУХИН Борис Владимирович	кандидат военных наук, доцент, старший преподаватель кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, p_oleg99@mail.ru
СОСЕНУШКИН Сергей Евгеньевич	кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем Московского государственного технологического университета «Станкин», ss@stankin.ru
СТАРИКОВ Владимир Владимирович	старший преподаватель кафедры беспроводных технологий и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, starikov.vv@sut.ru
СТАРОДУБОВ Роман Дмитриевич	аспирант кафедры защищенных систем связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, starodubov.rd@sut.ru
СТАРОСТИН Владимир Сергеевич	кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vm.ffp@sut.ru
СТЕПАНОВ Семён Сергеевич	кандидат технических наук, преподаватель Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vasn2020@mail.ru
СУРАВЦЕВ Руслан Витальевич	ассистент кафедры высшей математики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, suravcev.rv@sut.ru
ТАРАСЕНКО Станислав Евгеньевич	младший научный сотрудник Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, s.tar.my@mail.ru

ТАРАСОВ Владимир Анатольевич — старший преподаватель кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ius@sut.ru

ТАТАРЕНКОВ Дмитрий Александрович — старший преподаватель кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, tatarenkov.da@sut.ru

ТАЩИЯН Григорий Михайлович — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, tashian.gm@sut.ru

ТИМИРЗИН Егор Юрьевич — оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, timirzin.egor@yandex.ru

ТИХОНОВ Сергей Сергеевич — кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vasn2020@mail.ru

ТКАЧЕВ Дмитрий Федорович — кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, dimas.portnoy@inbox.ru

ТРУХИН Виталий Анатольевич — аспирант кафедры инфокоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого, vit.vks@gmail.com

ТРУХМАНОВ Игорь Романовиы — оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, truhmanovigor@yandex.ru

ТУЧКЕВИЧ Артём Никитович — аспирант кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, tuchkevich.an@sut.ru

УСТИМЕНКО Эльза Рамзановна — преподаватель Санкт-Петербургского колледжа телекоммуникаций им. Э. Т. Кренкеля Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ustimenko.er@sut.ru

ФЕДОРОВ Александр Владимирович — начальник инженерно-технического отдела Филиала НИЦ Телеком в г. Санкт-Петербурге, fav2k@yandex.ru

ФЁДОРОВ Сергей Леонидович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, sergey.fedorov@sut.ru

ФЕДОСЕЕВ Денис Олегович — кандидат технических наук, доцент, начальник отдела организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, gr-247@yandex.ru

ФЕДОТОВ Даниил Дмитриевич — магистрант группы Р-41м, инженер кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, fedotov.dd@sut.ru

ФИЛИППОВ Феликс Васильевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, filippov.fv@sut.ru

ФОКИН Григорий Алексеевич — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры беспроводных технологий и систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, fokin.ga@sut.ru

ФОМИН Артем Игоревич — аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, vladimirovs@sut.ru

ХАЙДАРОВ Артём Витальевич — магистрант группы ИКТС-33м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, , kislyakov@sut.ru

ХОАНГ Фыок Ньян — аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, khoang.fn@sut.ru

ХРИПУНОВ Максим Денисович — магистрант группы Р-41м, инженер кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, hripunov.md@sut.ru

ЦЫВАРЕВ Илья Васильевич — аспирант кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, tsyvarev.iv@sut.ru

ЧАБАНЕНКО Виктор Вячеславович — главный эксперт группы Департамента информационных систем Министерства обороны Российской Федерации, соискатель ученой степени кандидата наук Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, guritt_23@mil.ru

ЧЕКАЛОВ Дмитрий Александрович — магистрант группы ИКТС-33м Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, chekalov.da@sut.ru

ЧЕНСКИЙ Александр Александрович — инженер Центра перспективных проектов и разработок Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, chenskii.aa@sut.ru

ЧИКАЛОВ Никита Вячеславович — старший инженер-программист ОРПО АО НИИ «Рубин», nik.chikalow2011@yandex.ru

ШАБРОВА Елена Витальевна — инженер кафедры цифрового телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Shabrova.ev@sut.ru

ШАЙГАРАЕВА Татьяна Нажиповна — старший преподаватель кафедры радиотехнических систем Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики, shaigaraeva@mail.ru

ШАМАЕВ Вячеслав Алексеевич — младший научный сотрудник Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, timirzin.egor@ya.ru

ШВАЛЕВ Михаил Алексеевич — оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, shvalev605@gmail.com

ШЕЛЕГОВ Глеб Сергеевич — старший оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, glebsorta@gmail.com

ШЕСТАКОВ Иван Игоревич — кандидат технических наук, доцент кафедры многоканальной электрической связи Уральского технического института связи и информатики – филиала Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики, ivansche2007@rambler.ru

ШИБАЛЕНКОВ Кирилл Артемович — студент группы ИКВТ-22 Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, shibalenkov.ka@sut.ru

ШИЯН Павел Анатольевич — старший преподаватель кафедры информатики и компьютерного дизайна Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, shiyan.pa@sut.ru

ШИЯН Андрей Анатольевич — кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры информатики и компьютерного дизайна Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, shiyan.aa@sut.ru

ШМАТЧЕНКО Владимир Владимирович — кандидат технических наук, доцент кафедры электрической связи Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, cenelec2012@mail.ru

ШМИДТ Артур Андреевич — адъюнкт научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, vas2022@mail.ru

ЩЕРБИНИН Анатолий Витальевич — старший оператор научной роты Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, anatolii.sherbinin@yandex.ru

ЭЛЬ САБАЯР ШЕВЧЕНКО Нидал — старший преподаватель кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, elsabayar.sn@sut.ru

ЮСЕФ Фарах — старший преподаватель кафедры информационных систем Московского государственного технологического университета «Станкин», farahjyousef@gmail.com

ЯКУБОВА Наиля Равильевна — старший преподаватель кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, yakubova.nr@sut.ru

ЯСИР Хуссейн Али Ясир — аспирант кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, yasir.hay@sut.ru

65-Я НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА, НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ И АСПИРАНТОВ (НТК ППС 2025)

Сборник научных статей
Том 1

Научное издание

Верстка
М. О. Мотыгина
Корректура
Д. Н. Яшугин
Дизайн логотипа Г. И. Юрьев
Подписано в печать 13.05.2025
Объем 48,44 усл.-печ. л.

Объединенная редакция рецензируемых научных изданий СПбГУТ
193232 СПб., пр. Большевиков, 22, корп. 1

СПбГУТ)))