

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

**Компьютерные и информационные
технологии в науке, инженерии
и управлении**

«КомТех-2024»

Материалы Всероссийской научно-технической
конференции с международным участием

В двух томах

Том I

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2024

УДК 004:[001+62+005](063)

ББК 32.973+72я43

К63

Ответственный редактор С. И. Клевцов

К63 Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2024»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / отв. ред. С. И. Клевцов ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2024.

ISBN 978-5-9275-4717-3

Т. 1. – 403 с.

ISBN 978-5-9275-4718-0 (Т. 1)

В настоящее издание вошли доклады по материалам Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О. Н. Пьявченко «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении», рекомендованные к опубликованию Оргкомитетом.

В первый том материалов конференции вошли доклады участников конференции, посвященные методам, моделям и алгоритмам обработки информации, методам, системам и средствам обработки и моделирования физических сигналов, полей и процессов, авиационным системам, технологиям беспилотных летательных аппаратов, современным микро- и наноэлектронным системам и технологиям, проблемам промышленного дизайна и аддитивным технологиям.

Доклады могут быть интересны научным работникам, преподавателям, инженерам и студентам, специализирующимся в применении компьютерной обработки информации в различных областях деятельности человека.

УДК 004:[001+62+005](063)

ББК 32.973+72я43

ISBN 978-5-9275-4718-0 (Т. 1)

ISBN 978-5-9275-4717-3

© Южный федеральный университет, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Секция – **Методы, модели и алгоритмы обработки информации**

Кулешов Арсений Алексеевич

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И БЛОКИРОВКИ
ВРЕДОНОСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ И
КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ..... 10

Дмитриев Александр Георгиевич

КУСОЧНО-НЕПРЕРЫВНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ
МНОГОМЕРНЫХ СИГНАЛОВ 17

Косарева Екатерина Максимовна

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ
РАСПОЗНАВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕИНФОРМАЦИОН-
НЫХ УГРОЗ В РАМКАХ «УМНОГО» ГОРОДА 25

Пекишев Даниил Владимирович

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПОИСКОВОГО СЕРВИСА В
TELEGRAM С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ,
МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ..... 30

Хайруллина Лилия Эмитовна, Хакимов Зульфат Ниязович,

Хабибуллина Гузель Забировна
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ WOLFRAM MATHEMATICA В
ВЕЙВЛЕТ-ОБРАБОТКЕ РЯДОВ ФИНАНСОВЫХ ДАННЫХ 35

Васильев Константин Александрович

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗМЫТИЯ ДЛЯ МАСКИРОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИИ И УРОВНЕНИЯ ФРЕДГОЛЬМА ПЕРВОГО
РОДА ДЛЯ ЕЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ..... 42

Хлуденев Александр Владимирович

RSPICE МОДЕЛИ БИС ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО
ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПЕЧАТЫХ УЗЛОВ 49

Денисов Александр Анатольевич СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОПИСАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК ИЗОБРАЖЕНИЯ.....	57
Егорчев Антон Александрович, Чикрин Дмитрий Евгеньевич, Пашин Дмитрий Михайлович, Фахрутдинов Адель Фердинандович АЛГОРИТМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ТРЕМОРА ГОЛОВЫ ПО ДАНЫМ ВИДЕОКАМЕРЫ СМАРТФОНА СИСТЕМЫ БИОМЕДИЦИНСКОГО МОНИТОРИНГА.....	64
Гушанский Сергей Михайлович, Мушаев Алтман Яшкулович РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВОГО УСКОРИТЕЛЯ НА СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СХЕМАХ.....	71
Цветков Фёдор Алексеевич, Михайловский Виталий Алексеевич, Васильев Василий Васильевич МОДЕЛЬ 4GFSK-КАНАЛА ДЛЯ КВ-РАДИОСВЯЗИ.....	79
Юрченко Анастасия Юрьевна, Кандаурова Елена Александровна, Шевцов Андрей Петрович КОНЦЕПЦИЯ ФРЕЙМА В РАЗЛИЧНЫХ НАУЧНЫХ СФЕРАХ...	90
Мусоко Натан Каленга ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ (CNN) ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МАРКЕТИНГОВЫХ ХАБАХ.....	96
Сингх Санни, Прибыльский Алексей Васильевич ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ИЗ КОМПЛЕКСА ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ДАТЧИКОВ.....	100
Проскураков Александр Викторович, Проскураков Алексей Александрович РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ ВЕРИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ВРАЧА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ.....	106

Проскуряков Александр Викторович ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ «УМНОГО» МЕДИЦИНСКОГО ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ	117
Прудников Артем Александрович, Поленов Максим Юрьевич НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДУЛЬ РАСПОЗНАВАНИЯ И СОРТИРОВКИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ.....	127
Буланов Сергей Георгиевич АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПО ЛЯПУНОВУ СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ В АДДИТИВНОЙ ФОРМЕ.....	133
Коптева Анна Валерьевна, Шадрина Валентина Вячеславовна СРАВНЕНИЕ РЕЛЯЦИОННЫХ И ДОКУМЕНТНЫХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЦИФРОВОГО СЛЕДА В ОБРАЗОВАНИИ.....	139
Максимова София Михайловна ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КВАНТОВЫХ АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ.....	147
Максимова София Михайловна ПРИМЕНЕНИЕ ГОМОМОРФНОГО ШИФРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ.....	155
Клевцов Сергей Иванович ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ХАРАКТЕРА	163
Панычев Андрей Иванович АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРНОГО СИГНАЛА В ГИДРОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ.....	171
Бугаев Сергей Александрович, Завтур Евгений Евгеньевич ЦИФРОВОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КВАДРАТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В МНОГОЛУЧЕВОМ ЭХОЛОТЕ.....	178

Удод Евгений Васильевич МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ.....	185
Волошук Вадим Игоревич, Козловская Мария Алексеевна, Матвиенко Александр Сергеевич РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ.....	192
Кравченко Элеонора Николаевна, Леонова Антонина Валериевна, Шпаковская Оксана Юрьевна РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ МЭМС ТЕХНОЛОГИЙ...	199
Гушанский Сергей Михайлович, Потапов Виктор Сергеевич РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СЖАТИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	206
Егорчев Антон Александрович, Чикрин Дмитрий Евгеньевич, Пашин Дмитрий Михайлович, Сарамбаев Никита Андреевич, Фахрутдинов Адель Фердинандович АНАЛИЗ СИСТЕМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО ДАННЫМ ЗВУКОВОГО ПОТОКА....	213
Секция – Методы, системы и средства обработки и моделирования физических сигналов, полей и процессов	
Игнатович Владислав Олегович, Кисель Наталья Николаевна МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН ПРИ ПРИМЕНЕНИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ ММО И BEAMFORMING.....	220
Плаксиенко Владимир Сергеевич, Плаксиенко Нина Евгеньевна ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ С ДИСКРИМИНАТОРОМ С УПРАВЛЯЕМОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ	227
Плаксиенко Владимир Сергеевич ДЕМОДУЛЯТОРЫ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ....	233

Богатов Николай Маркович, Володин Владимир Сергеевич, Григорьян Леонтий Рустемович, Коваленко Максим Сергеевич МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ N - P ПЕРЕХОДА С УЧЕТОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ.....	238
Кривабоков Дмитрий Андреевич, Курников Дмитрий Сергеевич ПРОГРАММИРОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ПЗС-СПЕКТРОМЕТРА.....	246
Курников Дмитрий Сергеевич, Кривабоков Дмитрий Андреевич РЕАЛИЗАЦИЯ БЛОЧНЫХ АЛГОРИТМОВ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ НА ПЛИС.....	253
Моисеенко Иван Евгеньевич, Кисель Наталья Николаевна ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ	259
Конченков Владимир Игоревич, Полянский Евгений Олегович ВЫЧИСЛЕНИЕ ФОНОННОГО СПЕКТРА ЧЕРНОГО ФОСФОРЕНА.....	268
Абдрахманов Дмитрий Леватович, Конченков Владимир Игоревич, Лукьянов Артем Олегович, Тара- банова Татьяна Владимировна ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПАКЕТЕ LAMMPS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТЕНЦИАЛА МЕЖАТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, ПОЛУЧЕННОГО СЕТЬЮ SCHNET.....	276
Секция – Системы мониторинга, диагностики и управления Луговой Артём Романович, Пьявченко Алексей Олегович ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ БОРТОВЫХ ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	284
Спиридонов Олег Борисович, Милешко Леонид Петрович, Лобов Павел Николаевич МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ, АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ И КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.....	290

Михеев Дмитрий Иванович, Михеева Наталья Ивановна, Кадыркулова Кыял Кудайбердиевна МОНИТОРИНГ РЕЖИМА РАБОТЫ СЕТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	296
Анферова Маргарита Сергеевна, Белевцев Андрей Михайлович, Дворецкий Виктор Васильевич МЕТОДИКА И СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	302
Клименко Юрий Алексеевич, Преображенский Андрей Петрович РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧАСТКОМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ.....	309
Зинченко Юрий Евгеньевич, Зинченко Татьяна Анатольевна АДАПТИВНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ТЕСТОВ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ РЭА И ЭВА.....	316
Аксенов Василий Валерьевич АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ DATAFUSION ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДАННЫХ СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ С ПЛАТФОРМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ И СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ.....	325
Тимошкевич Иван Валерьевич ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ФОРМИРОВАНИЮ И ВЕДЕНИЮ ПАСПОРТОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ	339
Ященко Федор Викторович, Панченко Артем Сергеевич АДАПТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ФУНКЦИЕЙ ИНЖЕКЦИИ АНТИИСКАЖЕНИЙ В СЕТЬ.....	351
Власов Владимир Михайлович ДЕФЕКТОСКОПИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ....	357

Кучеренков Александр Петрович, Конченков Владимир Игоревич МОДУЛЬ СБОРА ДАННЫХ С LoRa КЛИЕНТОВ.....	364
Криницин Павел Геннадьевич, Ченцов Сергей Васильевич ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СМАЗКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ КЛАССИФИКАЦИИ.....	372
Маркович Игорь Ильич РАЗРАБОТКА МНОГОЛУЧЕВЫХ ГИДРОЛОКАТОРОВ В НКБ ЦОС ЮФУ.....	379
Попова Татьяна Сергеевна, Черников Дмитрий Юрьевич, Радыгин Руслан Евгеньевич ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ ПАКЕТНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ.....	389
Орехов Вячеслав Валентинович, Александрова Анастасия Сергеевна, Жаров Алексей Олегович, Коломиец Екатерина Дмитриевна, Москаленко Анна Сергеевна ДИЗАЙН КОРПУСА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ.....	395

Кулешов Арсений Алексеевич

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И БЛОКИРОВКИ
ВРЕДНОСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ И
КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

В данной работе предлагается методика обнаружения и блокировки вредоносного программного обеспечения (ВПО) с использованием анализа изображений и компьютерного зрения. Этот подход позволяет эффективно выявлять и предотвращать атаки, основанные на новых методах скрытия и обхода традиционных средств защиты. Система основана на использовании алгоритмов машинного обучения для анализа визуальных данных, полученных от пользователей или сетевого трафика. Предложенный подход может быть успешно применен для защиты информационных систем в различных сферах, включая корпоративную сетевую безопасность, киберзащиту критической инфраструктуры и защиту персональных данных.

Вредоносное программное обеспечение, обнаружение угроз, компьютерное зрение, анализ изображений, системы безопасности, машинное обучение, кибербезопасность, защита информации, атаки на ПО, сетевая безопасность.

Kuleshov Arseny Alexeevich

**DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR DETECTING AND
BLOCKING MALICIOUS SOFTWARE USING IMAGE ANALYSIS
AND COMPUTER VISION**

A methodology for detecting and blocking malicious software (malware) using image analysis and computer vision is proposed. This approach enables efficient detection and prevention of attacks based on new evasion and obfuscation techniques. The system relies on machine learning algorithms to analyze visual data obtained from users or network traffic. The proposed approach can be successfully applied to protect information systems in various domains, including corporate network security, critical infrastructure cybersecurity, and personal data protection.

Malicious software detection, image analysis, computer vision, efficiency analysis, cybersecurity, threat detection, machine learning, anomaly detection, pattern recognition, cyber threat mitigation.

Введение

Тема создания системы обнаружения и блокировки вредоносного программного обеспечения (ВПО) с использованием анализа изображений и компьютерного зрения находится в центре внимания в связи с постоянным увеличением числа киберугроз и развитием новых методов атак. Актуальность этой темы обусловлена необходимостью разработки эффективных инструментов для борьбы с различными видами вредоносного ПО, включая вирусы, троянские программы, шпионские модули и другие угрозы, которые могут причинить серьезный ущерб информационной безопасности организаций и частных лиц.

Использование анализа изображений и компьютерного зрения для обнаружения вредоносного ПО представляет собой инновационный подход, который позволяет выявлять новые угрозы и атаки, основываясь на визуальных данных, полученных от пользователя или из других источников. Данный подход позволяет обнаруживать вредоносное ПО, которое может быть скрыто в обычном трафике или обходит традиционные методы обнаружения, такие как сигнатурные анализаторы или системы предупреждения об инцидентах.

Разработка и внедрение системы обнаружения и блокировки ВПО на основе анализа изображений и компьютерного зрения требует совместной работы специалистов по информационной безопасности, специалистов по машинному обучению и компьютерному зрению, а также разработчиков программного обеспечения. Такие системы могут быть применены в различных сферах, включая корпоративную информационную безопасность, киберзащиту критической инфраструктуры, защиту персональных данных и другие области, где важна защита от киберугроз.

Основная часть

Система обнаружения и блокировки вредоносного программного обеспечения (ВПО) с использованием анализа изображений и компьютерного зрения представляет собой инновационный подход к борьбе с киберугрозами, который объединяет в себе передовые методы анализа данных и технологии искусственного интеллекта.

Ключевой идеей данной системы является использование изображений, получаемых из сети Интернет, в ходе коммуникации между пользователями ИС или из других источников, для выявления потенциально вредоносного ПО в результате фоновой аналитики. Для реализации данной задачи используются следующие технологии ИБ:

1. Обнаружение аномалий, с помощью которых система может анализировать изображения на наличие аномальных или подозрительных элементов, таких как неизвестные программные интерфейсы, артефакты или нетипичные структуры данных, которые могут указывать на наличие вредоносного программного обеспечения [5].

2. Классификация объектов, с помощью которой методами машинного обучения система может определять характеристики и формы объектов на изображении и сравнивать их с базой данных известных вредоносных элементов.

3. Сегментация изображений, для которой используются техники сегментации изображений в целях выделения отдельных объектов или областей на изображении, что позволяет более точно анализировать их структуру и содержание.

4. Поведенческий анализ, то есть анализ временных рядов и динамики изменений в изображениях для выявления аномальных паттернов и поведения, которые могут свидетельствовать о наличии вредоносного ПО [4].

5. Блокировка при обнаружении подозрительных элементов или активностей, а также меры по блокировке или исключению вредоносного ПО

Эффективность такой системы обнаружения вредоносного программного обеспечения может быть значительно увеличена за счет комбинации различных методов анализа изображений и компьютерного зрения с передовыми технологиями искусственного интеллекта и машинного обучения. Кроме того, важным аспектом является постоянное обновление системы и базы данных для обеспечения ее актуальности и эффективности в поиске и блокировке новых угроз.

Существующие методы обнаружения и блокировки ВПО имеют ряд недостатков, включая низкую скорость реакции на новые угрозы, сложность адаптации к разнообразным типам ВПО и неэффективность в обнаружении скрытых угроз и уязвимостей «нулевого дня». Это создает потребность в разработке новых подходов, способных обеспечить более высокий уровень защиты.

Кроме вышеперечисленных методов анализа, система также может использовать различные техники и подходы для обнаружения вредоносного программного обеспечения на основе изображений. Например, одним из методов может быть анализ текстур и цветовых характеристик изображений. Вредоносное ПО часто имеет определенные текстурные или цветовые особенности, которые могут быть обнаружены с помощью алгоритмов анализа изображений. Это может включать в себя поиск аномальных участков с необычными текстурами или цветовыми схемами, которые отличаются от типичных шаблонов в безопасных программах.

Примером может служить обнаружение вредоносных файлов внутри архивов. Система анализирует изображения содержимого архивов и может выявлять подозрительные элементы, такие как аномальные текстуры или цвета в файловых структурах. Например, если вредоносный файл содержит скрытые данные или вредоносный код, который не обнаруживается традиционными методами сканирования, система может использовать анализ изображений для выявления таких аномалий и предпринимать соответствующих мер по блокировке или удалению угрозы.

Еще одним примером может быть анализ цифровых подписей и стеганографии в изображениях. Вредоносные программы могут использовать различные методы для скрытия своего кода или данных внутри изображений, используя цифровые подписи или стеганографию. Система обнаружения и блокировки ВПО может проводить анализ цифровых подписей и стеганографических методов, чтобы выявлять скрытые угрозы и предотвращать их воздействие на систему.

В рамках данной работы реализована система анализа изображений на наличие вредоносных, основанная на машинном обучении. Нейронная сеть производит анализ по паттернам, представленным на входных изображениях, и, исходя из баз однозначно вредоносных изображений и характерных им паттернов, делает вывод, заражено ли изображение или нет.

Данный подход возможен благодаря заранее подготовленному dataset вредоносных изображений, на котором описанная в данной работе нейронная сеть прошла обучение в рамках 10 эпох.

Преимуществом данной системы является более глубокий анализ по сравнению с вышеуказанными уже существующими средствами.

Обобщенная архитектура программной реализации представлена на рис. 1.

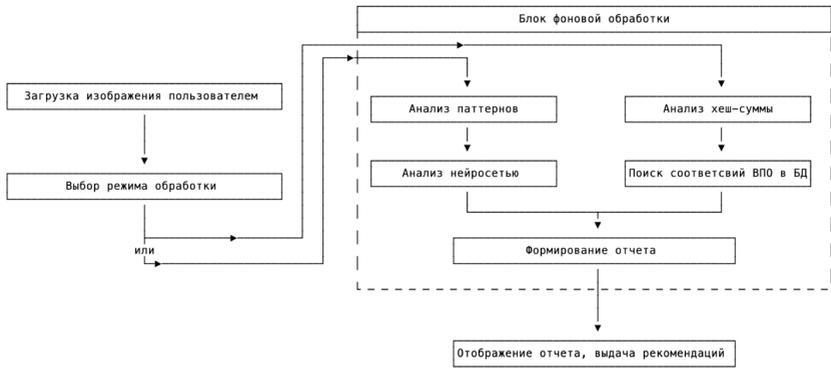


Рис. 1. Обобщенная архитектура ПО

Ниже представлен веб-интерфейс реализованного средства в процессе анализа (рис. 2) и с уже полученным результатом, дополненным показателем выявления вредоносных в загруженной картинке в процентах (рис. 3).

Наиболее известным и технически продвинутым на нынешний момент средством поиска вредоносных изображений является антивирусное программное обеспечение [6].

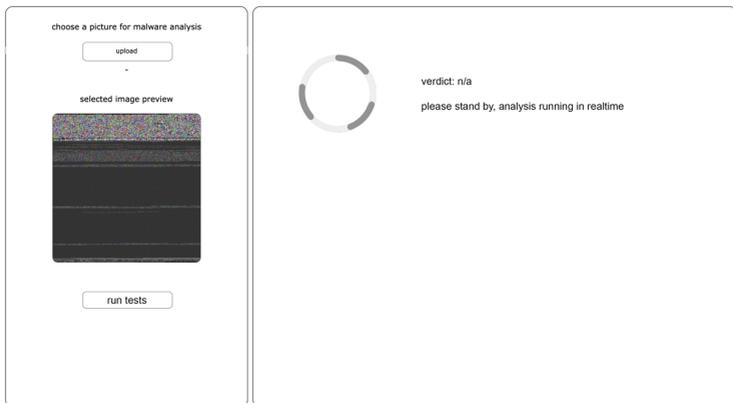


Рис. 2. Процесс анализа

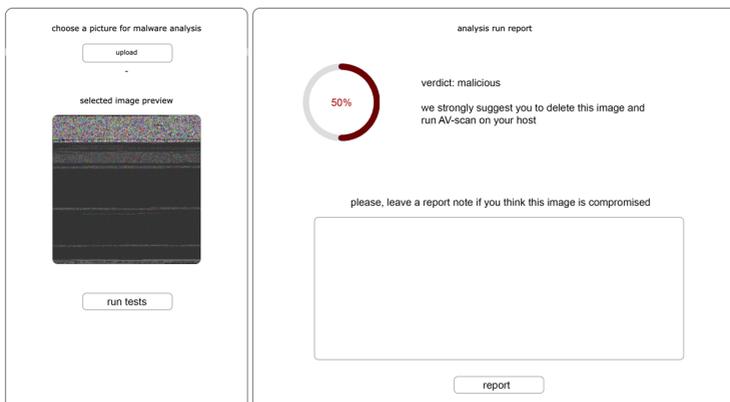


Рис. 3. Отображение результата анализа

АВПО является комплексным решением для защиты ЭВМ от ВПО, и чаще всего основано на сигнатурном анализе. Это означает, что при выполнении планового сканирования средством АВПО происходит вычисление хеш-сумм файлов, размещенных на хосте, и сопоставление полученных хеш-сумм с базой сигнатур. Если найдено соответствие, ПО классифицируется и как вредоносное, и АВПО принимает меры по нейтрализации угрозы.

Реализованное в рамках данной работы программное средство имеет ряд преимуществ перед уже существующими АВПО, некоторые из которых включают: глубокий анализ с учетом зафиксированных ранее атак и попыток эксплуатации уязвимостей ОС с помощью вредоносных изображений с помощью обнаружения паттернов, а не на основе сигнатурного анализа по хеш-функции, также, данная реализация способна сформировать рекомендации по нейтрализации угрозы для пользователя исходя из оценки вредоносности проанализированного изображения.

Таким образом, пользователь, загрузив подозрительное изображение на указанный выше ресурс, имеет возможность получить информацию, стоит ли удалять данное изображение, или оно не является опасным. В случае, если изображение действительно представляет угрозу, представленный в данной работе ресурс сообщит это пользователю, указав в качестве рекомендации провести полную проверку хостовым СЗИ.

Выводы

Разработка системы обнаружения и блокировки ВПО с использованием анализа изображений и компьютерного зрения представляет собой важный шаг в обеспечении кибербезопасности. Ее применение может значительно снизить риск инцидентов безопасности и повысить уровень защиты информационных ресурсов. Дальнейшее исследование и развитие этой технологии позволит обеспечить еще более надежную защиту в условиях постоянно меняющейся киберугрозовой обстановки.

Данная технология потенциально представляет большой интерес для корпораций различного масштаба, так как ее внедрение может обеспечить усиленную безопасность при работе с информацией, составляющей коммерческую тайну.

В целом, предложенное в данной работе программное решение на основе машинного обучения может составить конкуренцию существующим средствам обнаружения ВПО. Тем не менее, для дальнейшего развития средства анализа наличия вредоносных объектов в изображениях потребуются дальнейшие доработки, обучение нейронных сетей и сравнительно большие мощности ЭВМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Панарин В. М., Гришаков К. В., Маслова А. А., Гришакова О. В., Архипов А. В. и др.* Нейроны в нейронных сетях // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. № 2.
2. *Зрелова Д. П., Ульянов С. В.* Модели физически информированных / осведомленных классических лагранжевых / гамильтоновых нейронных сетей в глубоком обучении // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2022. № 2.
3. *Сторожок Е. А., Дорофеев Г. В., Стародубцев П. А.* Классификация сигналов с использованием технологии нейронных сетей // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2022. № 3.
4. *Филюков Д. А.* Применение нейронных сетей для формирования кода вредоносного программного обеспечения // Инновации и инвестиции. 2023. № 7.
5. *Лихотин М. А.* Использование свёрточных нейронных сетей для анализа изображений // Вестник ВГТУ. 2023. № 2.
6. *Павликов С. Н., Коломеец В. Ю., Колесов Ю. Ю., Петров П. Н., Афанасьев Р. К.* Метод обнаружения вредоносных программ и их элементов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2022. № 3.

7. Латыпова Д. С., Тумаков Д. Н. Применение технологии CUDA для обучения нейронной сети Кохонена // Программные продукты и системы. 2022. № 3.

8. Карпов К. Д., Холмогоров В. В. Система оценки качества изображения на основе компьютерного зрения // International Journal of Open Information Technologies. 2022. № 12.

9. Айткенова М. К., Сарсенбаева Ж., Сартбасов Б. Б. Виды вредоносного программного обеспечения // НИР/S&R. 2022. № 2 (10).

10. Дрюченко М. А., Сирота А. А. Стегоанализ цифровых изображений с использованием глубоких нейронных сетей и гетероассоциативных интегральных преобразований // ПДМ. 2022. № 55.

Кулешов Арсений Алексеевич, студент Донского Государственного Технического Университета, Россия, город Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, 344000, телефон: +7 (928) 129-45-30, email: arseniykul@gmail.com.

Kuleshov Arseny Alekseevich, student of Don State Technical University, Russian Federation, Rostov-on-Don, Gagarina sq., 1, 344000, phone: +7 (928) 129-45-30, email: arseniykul@gmail.com.

УДК 621.391

Дмитриев Александр Георгиевич

КУСОЧНО-НЕПРЕРЫВНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ МНОГОМЕРНЫХ СИГНАЛОВ

Предлагается алгоритм кусочно-непрерывной аппроксимации структурных экспериментальных многомерных сигналов с заранее неизвестным числом интервалов разбиения на "однотипные" фрагменты. Построение многомерной кусочно-непрерывной аппроксимирующей функции выполняется "слева направо", что позволяет использовать метод динамического программирования для определения границ интервалов разбиения. Используется критерий качества аппроксимации, учитывающий количество данных на интервалах разбиения и "сложность" используемых локальных моделей сигналов.

Аппроксимация, сегментация, структурные сигналы.

ADAPTIVE ALGORITHM FOR COMPRESSION OF NOISY IMAGES

An algorithm for piecewise continuous approximation of structural experimental multidimensional signals with a previously unknown number of intervals for splitting signals into "similar" fragments is proposed. The construction of a multidimensional piecewise continuous approximating function is performed "left – to - right", which allows to use the dynamic programming method to determine the boundaries of the partition intervals. The approximation quality criterion is used, taking into account the number of data on the partition intervals and the "complexity" of the local signal models used.

Approximation, segmentation, structural signals.

Введение

В различных приложениях возникает проблема анализа так называемых структурных экспериментальных сигналов, рассматриваемых как последовательная во времени комбинация более простых сигналов (функций), которые обладают постоянными свойствами в соответствующие промежутки времени [1, 3, 5]. Обработка таких сигналов в большинстве случаев сводится к двухэтапной процедуре: выделению "однотипных" фрагментов (этап сегментации) и последующему построению описания представленных сигналов в целом. Использование существующих методов сегментации сигнала оказывается недостаточно эффективным в условиях высокой размерности, ограниченности экспериментальных наблюдений и неизвестном количестве "однотипных" фрагментов (интервалов разбиения). Кроме того, аппроксимирующая функция обычно имеет разрывы на границах "однотипных" фрагментов [2, 4].

Целью работы является разработка алгоритма кусочно-непрерывной аппроксимации многомерных сигналов с заранее неизвестным количеством интервалов разбиения сигналов на "однотипные" фрагменты, который при определенных условиях обеспечивает оптимальное значение выбранному критерию качества аппроксимации.

Постановка задачи

Пусть для анализа предъявлен набор s сигналов $y(t) = (y^{(1)}(t), \dots, y^{(s)}(t))$ (многомерный сигнал), в совокупности характеризующих исследуемый объект. Значения $y^{(i)}(t)$, $i = 1, \dots, s$, задаются в

дискретные моменты времени $t = t_1, \dots, t_N$. Критерий качества аппроксимации J на выборке экспериментальных значений выбран в виде:

$$J = \frac{1}{N \cdot s} \sum_{i=1}^s \mu_i \sum_{j=1}^r \frac{n_j}{n_j - m} \sum_{t_i \in (T_{j-1}, T_j]} [y^{(i)}(t_i) - F_j^{(i)}(t_i, \alpha_j^{(i)})]^2, \quad (1)$$

где μ_i - априорный «вес» сигнала $y^{(i)}$, n_j - число дискретных отсчетов на интервале $(T_{j-1}, T_j]$, $F_j^{(i)}(t_i, \alpha_j^{(i)}) = \sum_{k=1}^m \alpha_{jk}^{(i)} \varphi_k(t)$ - многочлен по заданному набору базисных функций $\{\varphi_k(t), k=1, \dots, m\}$, $\alpha_j^{(i)} = (\alpha_{j1}^{(i)}, \dots, \alpha_{jm}^{(i)})$ - вектор оцениваемых параметров на j -ом интервале.

В критерии (1) используются веса $\mu_i, i=1, \dots, s$, и $n_j / (n_j - m), j=1, \dots, r$. Введение весов μ_i связано с тем, что на практике параметры $y^{(i)}$ часто имеют различную практическую значимость. Конкретные значения μ_i выбираются из содержательных соображений, обычно они нормируются так, чтобы $\sum_{i=1}^s \mu_i = 1$. Веса $n_j / (n_j - m)$ - это обычные нормирующие коэффициенты, учитывающие размерность модели.

Требуется найти такое разбиение $T = (T_0, T_1, \dots, T_r), T_0 < T_1 < \dots < T_r$ (предполагается синхронное изменение сигналов $y^{(i)}$ заданного отрезка $[t_1, t_N]$, $T_0 = t_1, T_r = t_N$ на r интервалов $(T_{j-1}, T_j], j=1, \dots, r$ (r - в общем случае, неизвестно), и определить на каждом из этих интервалов такие значения векторов параметров $\alpha_j^{(i)}, i=1, \dots, s$, чтобы функционал (1) принял минимальное значение при условии ограничений на непрерывность аппроксимирующих функций:

$$F_j^{(i)}(T_j, \alpha_j^{(i)}) = F_{j+1}^{(i)}(T_j, \alpha_{j+1}^{(i)}), j=1, \dots, r-1; i=1, \dots, s. \quad (2)$$

Алгоритм

Обозначим через $\varepsilon^{(i)}(T_{j-1}, T_j)$ - ошибку аппроксимации i -го сигнала на интервале $(T_{j-1}, T_j]$, подсчитанную по методу наименьших квадратов.

Тогда критерий (1) примет вид:

$$J = \frac{1}{N \cdot s} \sum_{i=1}^s \mu_i \sum_{j=1}^r \frac{n_j}{n_j - m} \varepsilon^{(i)}(T_{j-1}, T_j). \quad (3)$$

Сделаем следующее предположение. Границы $T_j, j=1, \dots, r-1$ разбиения $T = (T_0, T_1, \dots, T_r)$ и соответствующие локальные аппроксимирующие функции на каждом интервале разбиения будем находить «слева – направо». Пусть определено положение границы T_1 , находим локальные аппрок-

симирующие функции $F_1^{(i)}(t, \alpha_1^{(i)})$, доставляющие минимум $\varepsilon^{(i)}(T_0, T_1)$, $i = 1, \dots, s$. Далее фиксируем положение границы T_1 , находим границу, доставляющую минимум $\varepsilon^{(i)}(T_1, T_2)$, $i = 1, \dots, s$, при ограничении на непрерывность на границе T_1 : $F_1^{(i)}(T_1, \alpha_1^{(i)}) = F_2^{(i)}(T_1, \alpha_2^{(i)})$, $i = 1, \dots, s$, фиксируем T_2 и т.д.

При этом предположении критерий (3) с ограничениями (2) обладает следующим свойством. Пусть T_j^* - некоторое фиксированное положение правой границы j -го интервала. Тогда границы T_1^*, \dots, T_{j-1}^* , полученные минимизацией (3) только по границам T_1, \dots, T_{j-1} , не зависят от значений границ T_{j+1}, \dots, T_{r-1} . Действительно, функционал (3) можно представить в виде суммы двух неотрицательных величин: $J = J_a + J_b$, где

$$J_a = J_a(T_1, \dots, T_{j-1} / T_j^*) = \frac{1}{N \cdot s} \left\{ \sum_{k=1}^j \frac{n_k}{n_{k-m}} \sum_{i=1}^s \mu_i \varepsilon^{(i)}(T_{k-1}, T_k) \right\},$$

$$J_b = J_b(T_{j+1}, \dots, T_{r-1} / T_j^*) = \frac{1}{N \cdot s} \left\{ \sum_{k=j+1}^r \frac{n_k}{n_{k-m}} \sum_{i=1}^s \mu_i \varepsilon^{(i)}(T_{k-1}, T_k) \right\}, \quad T_j = T_j^*.$$

Но тогда, очевидно, $\arg \min_{T_1, \dots, T_{j-1}} J = \arg \min_{T_1, \dots, T_{j-1}} J_a$. Из этого свойства следует, что если T_j^* - оптимальное положение j -ой границы, то и границы T_1^*, \dots, T_{j-1}^* , полученные минимизацией J по T_1, \dots, T_{j-1} , также оптимальны. Рассмотренное свойство критерия (3) позволяет воспользоваться процедурой динамического программирования [6] для определения оптимальных границ интервалов.

Пусть число интервалов равно r_0 . Следующий рекуррентный алгоритм находит разбиение и локальные аппроксимирующие функции, доставляющие оптимальное значение функционалу (1) (при сделанном выше предположении).

Сначала последовательно табулируются функции $J_j(T_j)$, $j = 1, 2, \dots, r_0 - 1$, где

$$J_1(T_1) = \frac{1}{n_1 \cdot s} \left\{ \frac{n_1}{n_1 - m} \sum_{i=1}^s \mu_i \varepsilon^{(i)}(T_0, T_1) \right\}, \quad T_1 = t_p, \dots, t_{N-(r_0-1)p}; \quad J_j(T_j) = \frac{1}{s \cdot n(T_0, T_j)} \cdot$$

$$\min_{T_{j-1}=t_{(j-1)p}, \dots, t_{T_j-p}} \left\{ s \cdot n(T_0, T_{j-1}) \cdot J_{j-1}(T_{j-1}) + \frac{n_j}{n_j - m} \sum_{i=1}^s \mu_i \varepsilon^{(i)}(T_{j-1}, T_j) \right\},$$

$T_j = t_{j,p}, \dots, t_{N-(r_0-j)p}$; $j = 2, \dots, r_0 - 1$; T'_j -номер отсчета, соответствующий границе T_j , p - заданное минимально допустимое число отсчетов на интервале разбиения. Аппроксимирующие функции на соседних интервалах строятся с учетом условий на непрерывность (2). Одновременно запоминаются значения $M_{j-1}(T_j), T_j = t_{j,p}, \dots, t_{N-(r_0-j)p}$; $j = 2, \dots, r_0 - 1$, - значения оптимальных положений границ T_{j-1} для каждого T_j . Далее определяются оптимальные границы интервалов:

$$T_{r_0-1}^* = \arg \min_{T_{r_0-1} = t_{(r_0-2)p}, \dots, t_{N-p}} \left\{ s \cdot n(T_0, T_{r_0-1}) J_{r_0-1}(T_{r_0-1}) + \frac{n_{r_0}}{n_{r_0} - m} \sum_{i=1}^s \mu_i \varepsilon^{(i)}(T_{r_0-1}, t_N) \right\}, \quad (4)$$

$$T_{r_0-2}^* = M_{r_0-2}(T_{r_0-1}^*), \dots, T_1^* = M_1(T_2^*).$$

Для нахождения разбиения $T^H = (T_0, T_1^H, \dots, T_{r_H}^H, T_r)$ при неизвестном числе интервалов используется экстремальный характер зависимости J от r . Действительно, при увеличении r , с одной стороны, происходит увеличение весов $n_j / (n_j - m + 1)$ - за счет уменьшения в среднем n_j , что, при прочих равных условиях, приводит к увеличению критерия (1). С другой стороны, при увеличении числа интервалов, происходит уменьшение обычной квадратичной невязки, что приводит к уменьшению (1). Одновременное действие этих факторов приводит к тому, что функционал (1) достигает своего минимального значения на некотором промежуточном (не граничном) значении r_H .

Для определения r_H можно воспользоваться подходом, предложенном в работе [2]. Сначала подсчитываются минимальные значения функционала (1) $J_j(t_N), j = 2, \dots, r_{\max}$. Одновременно запоминаются значения $M_{j-1}(T_j)$ оптимальных положений границ T_{j-1} для каждого T_j . Далее производится выбор числа интервалов и определяются оптимальные границы. В качестве r_H выбирается такое наименьшее число интервалов r , при котором $J_r(t_N)$ - принимает минимальное значение. Оптимальные границы $T_1^H, \dots, T_{r_H}^H$ определяются из выражений, аналогичных (4):

$$T_{r_H-1}^H = M_{r_H-1}(t_N), T_{r_H-2}^H = M_{r_H-2}(T_{r_H-1}^H), \dots, T_1^H = M_1(T_2^H).$$

Величина r_{\max} выбирается из содержательных или статистических соображений. В частности, в качестве r_{\max} можно использовать величину $[N/p]$, где $[x]$ - целая часть x .

Моделирование

Для проверки эффективности алгоритма было проведено его моделирование на специальных многомерных сигналах с заданными свойствами, генерируемых при помощи следующей процедуры.

Векторная функция рассматривается на интервале: $[1, N]$:
 $y(t) = (y^{(1)}(t), \dots, y^{(s)}(t))$, где

$$y^{(i)}(t) = \sum_{j=1}^{r^*} \varepsilon_j \left\{ \frac{y_j^{(i)} \cdot T_{j-1} - y_{j-1}^{(i)} \cdot T_j + (y_{j-1}^{(i)} - y_j^{(i)})t}{T_{j-1} - T_j} \right\} + b \cdot \xi_i, \quad (i=1, \dots, s) \quad (5)$$

представляет собой суперпозицию кусочно-линейной непрерывной функции и независимой гауссовой помехи с нулевым средним значением и дисперсией b^2 ; $T_0 = 1, T_{r^*} = N$, $T_j, j = 1, \dots, r^* - 1$ – узловые точки кусочно-линейной векторной функции; $y_j^{(i)}, j = 0, \dots, r^*$ – значения этих функций в точках T_j ; ε_j – характеристическая функция равна единице, если $t \in (T_{j-1}, T_j]$, и равна нулю, если $t \notin (T_{j-1}, T_j]$. Узловые точки T_j , значения кусочно-линейной функции $y_j^{(i)}$ в этих точках, число интервалов r^* задаются с помощью генератора случайных чисел по следующему алгоритму:

1. $j = 0; T_0 = 1; y_0^{(i)} = \zeta_{0i}, i = 1, \dots, S$.
2. Если $N - T_j < p$, то переход к п. 4. В противном случае - переход к п. 3.
3. $j = j + 1; T_j = T_{j-1} + [\beta_j c + p], y_j^{(i)} = \zeta_{ji} \cdot d, i = 1, \dots, s$, переход к п. 2.
4. $T_j = N; r^* = j$.

ζ_{ji}, β_j – случайные числа равномерно распределенные, соответственно, на интервалах $[-1; 1]$ и $[0; 1]$; p, d, c, N – заданные параметры алгоритма.

Далее находятся значения $y^{(i)}(t), (t = 1, 2, \dots, N), (i = 1, \dots, s)$ вектор функции (5). В качестве локальных аппроксимирующих функций использовались линейные функции: $F_j^{(i)}(t, \alpha_j^{(i)}) = \alpha_{j1}^{(i)} + \alpha_{j2}^{(i)} \cdot t, i = 1, \dots, s, j = 1, \dots, r^*$.

В ходе исследований экспериментальный материал содержал три группы трехкомпонентных многомерных сигналов, полученных с использованием описанной выше процедуры. Первая группа состояла из многомерных сигналов без шума, вторая и третья, соответственно, со средним (или низким) и повышенным уровнем шума ($b^2 \in [0, 1 - 0, 3]$). Как и ожида-

лось, при отсутствии шума алгоритм безошибочно находит требуемое число и границы интервалов аппроксимирующих функций.

Типичные зависимости критерия J от r для второй третьей групп сигналов показаны на рис. 1 и 2 (знак \uparrow на рисунках указывает на фактическое количество интервалов).

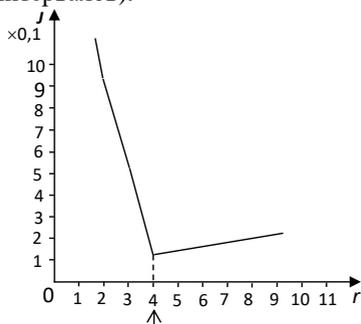


Рис. 1. Средний уровень шума

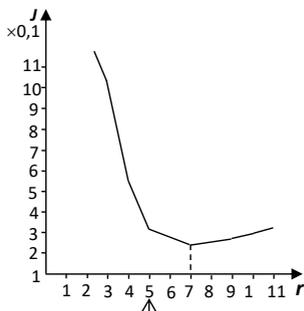


Рис. 2. Высокий уровень шума

Для сигналов со средним уровнем шума минимум функционала, как правило, приходится на искомое число интервалов. Для сигналов с повышенным уровнем шума несоответствие между оптимальным и искомым числом интервалов проявлялось чаще. Для обеих групп сигналов это расхождение наблюдалось, когда в многомерном сигнале были соседние интервалы, на которых разница в "поведении" сигнала была незначительной, и, как правило, такие интервалы содержали небольшое количество отсчётов.

Выводы

Таким образом, предложенный подход построения кусочно-непрерывной аппроксимирующей функции "слева направо" позволяет для определения границ интервалов разбиения применить метод динамического программирования. Для оценки количества интервалов разбиения используется экстремальное поведение критерия качества аппроксимации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Моттль В.В., Мучник И.Б.* Скрытые марковские модели в структурном анализе сигналов. М.: Физматлит. 1999. 352с.
2. *Дмитриев А.Г.* Алгоритм оптимальной структурной аппроксимации экспериментальных многомерных сигналов. // Научно-технические технологии. 2010. №9. С. 31-35.
3. *Костин А. А., Красоткина О. В., Марков М. В., Моттль В.В., Мучник И.Б.* Алгоритмы динамического программирования для анализа нестационарных сигналов. // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2004. Т. 44. №1. С. 70–86.
4. *Дмитриев А.Г., Дорофеюк А.А.* Методы кусочной аппроксимации многомерных кривых // Автоматика и телемеханика. 1984. № 12. - С.101-108.
5. *Браверман Э.М., Мучник И.Б.* Структурные методы обработки эмпирических данных. М.: Наука. 1983. 464с.
6. *Беллман Р., Дрейфус С.* Прикладные задачи динамического программирования. М.: Наука. 1969. 457с.

Дмитриев Александр Георгиевич, кандидат технических наук, доцент Военного университета радиоэлектроники, 162622, Россия, город Череповец, Советский проспект 126, телефон: +7 (921) 250-55-72, email: dag334a@fxmail.ru

Dmitriev Alexander Georgievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate Professor of the Military University of Radio Electronics, 162622, Russia, Череповец, Sovetsky Prospekt 126, phone: +7 (921) 250-55-72, email: dag334a@fxmail.ru

Косарева Екатерина Максимовна

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕИНФОРМАЦИОННЫХ УГРОЗ В РАМКАХ «УМНОГО» ГОРОДА

В статье рассмотрены пути применения нейросетевых алгоритмов для распознавания потенциальных угроз в рамках «умного города». Цель исследования состоит в исследовании возможностей применения нейросетевых алгоритмов в системах безопасности «умного» города. Задачей исследования является обоснование использования нейронных сетей для проектирования алгоритмов распознавания в системах безопасности. В ходе анализа рассмотрено применение нейронных сетей в системах цифрового наблюдения.

«Умный» город, нейросетевой алгоритм, нейросеть, обучение нейронной сети, система распознавания, распознавание потенциальных угроз.

Kosareva Ekaterina Maksimovna

APPLICATION OF NEURAL NETWORK ALGORITHMS TO RECOGNIZE POTENTIAL NON-INFORMATIONAL THREATS WITHIN A «SMART» CITY

The article discusses ways to use neural network algorithms to recognize potential threats within the framework of a “smart city”. The purpose of the study is to consider the possibilities of using neural network algorithms in smart city security systems. The objective of the study is to justify the use of neural networks for the design of recognition algorithms in security systems. During the analysis, use of the neural networks in digital surveillance systems was considered.

“Smart” city, neural network algorithm, neural network, neural network training, recognition system, recognition of potential threats.

Введение

При реализации систем «умный» города особое внимание уделяется сопутствующим системам обеспечения безопасности. В настоящее время наблюдается тенденция перехода от фиксации повреждения или правонарушения к аналитике реального времени и предиктивной аналитике. Это позволяет обнаружить и предотвратить потенциальные угрозы до момента их реализации.

Опираясь на статистические модели и данные умных устройств, становится возможным расчет вероятности аварии на производстве или совершения преступления в конкретном месте и конкретное время. Сбор данных для аналитики производится при помощи таких технологий как:

- централизованные станции контроля;
- цифровое наблюдение;
- предиктивное обнаружение.

Зачастую данные системы реализуются на основе применения нейросетевых алгоритмов распознавания. В настоящей статье рассмотрен один из методов проектирования нейросетевого алгоритма цифрового наблюдения и распознавания потенциальных угроз в рамках «умного» города.

Основная часть

Нейросеть (neural network) – математическая модель, которая имитирует работу человеческого мозга. Нейросети состоят из множества взаимосвязанных искусственных нейронов, способных обрабатывать большие массивы данных и находить в них сложные закономерности [2].

В настоящее время существует около десятка разновидностей нейронных сетей (НС). Одним из самых широко используемых вариантов является сеть, построенная на многослойном перцептроне, которая позволяет классифицировать поданное на вход изображение/сигнал в соответствии с предварительной настройкой/обучением сети.

Обучаются нейронные сети на наборе обучающих примеров. Суть обучения сводится к настройке весов межнейронных связей в процессе решения оптимизационной задачи методом градиентного спуска. В процессе обучения НС происходит автоматическое извлечение ключевых признаков, определение их важности и построение взаимосвязей между ними. Обученная НС сможет применить опыт, полученный в процессе обучения, на неизвестные образы за счет обобщающих способностей.

Наилучшие результаты в области распознавания (по результатам анализа публикаций) показала Convolutional Neural Network или сверточная нейронная сеть, которую и предлагается применять для проектирования алгоритма цифрового наблюдения и распознавания угроз. Топология сверточной нейронной сети представлена на рис. 1.

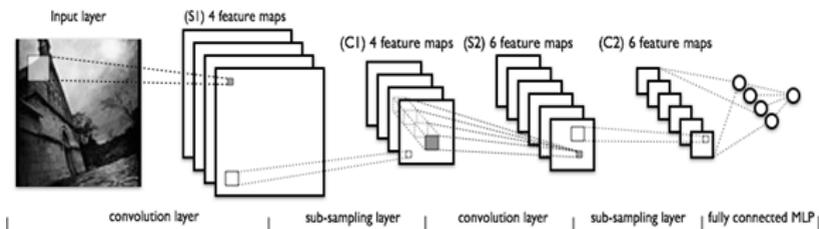


Рис. 1. Топология сверточной нейронной сети

Предлагаемый метод

В основе метода лежит распознавание объектов с фото или видеопотока при помощи нейронной сети, обученной на основе глубокой модели.

Распознавание объектов является задачей компьютерного зрения, которая заключается в поиске и локализации объектов различных классов на изображении. Она отличается от классификации изображений тем, что помимо определения класса объекта, распознавание также предоставляет информацию о его местоположении на изображении, выделяя границы или ограничивающие рамки вокруг объектов.

Процесс распознавания объектов с использованием глубоких моделей включает следующие этапы:

1. Аналогично классификации изображений, распознавание объектов требует наличия размеченных данных, содержащих изображения и соответствующие им классы и границы объектов.
2. Данные также могут потребовать предварительной обработки, включая изменение размера, нормализацию и аугментацию.
3. Для распознавания объектов используются различные архитектуры на основе глубокого обучения, такие как Faster R-CNN, SSD (Single Shot MultiBox Detector), YOLO (You Only Look Once) и другие.
4. Обучение модели для распознавания объектов и оценка производительности модели на тестовом наборе данных. Оценка включает вычисление метрик, таких как точность обнаружения, полнота, точность локализации и средняя точная оценка (mAP), которая является общей мерой производительности модели [8].

Блок-схема алгоритма проектирования системы распознавания потенциальных угроз представлена на рис. 2.

Таким образом, распознавание объектов с использованием глубоких моделей позволяет автоматически обнаруживать и локализовать потенциальные

угрозы с высокой точностью.

Выводы

Нейросетевые алгоритмы обладают большим потенциалом использования в системах цифрового наблюдения и распознавания потенциальных угроз в «умном» городе.

Применение сверточных нейронных сетей и предобученных глубоких моделей при проектировании алгоритмов распознавания для конкретных задач обеспечивает высокую точность распознавания и классификации потенциальных опасностей и делает возможным предективное обнаружение таких неинформационных угроз как:

- злоумышленники-рецидивисты;
- поведенческие предпосылки к девиантному поведению;
- терроризм,
- стихийные бедствия и т. д.

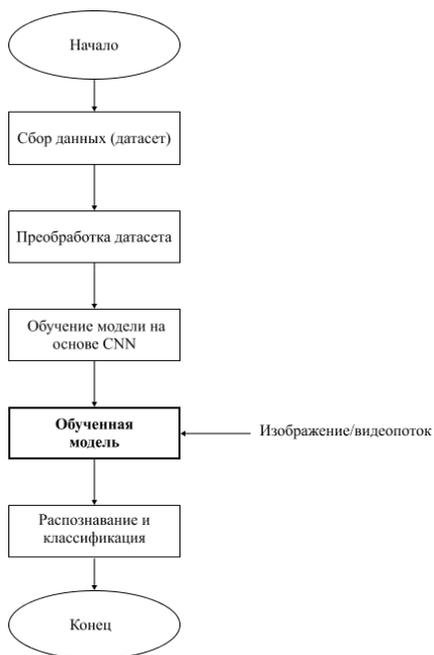


Рис. 2. Блок-схема предлагаемого метода

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. A Beginner's Guide to Machine Learning URL: <https://medium.com/@randylaosat/a-beginners-guide-to-machine-learning-5d87d1b06111> (дата обращения: 28.04.2024).
2. Что такое нейросеть и как она работает URL: <https://secretmag.ru/enciklopediya/chto-takoe-neiroset-obyasnyaem-prostymi-slovami.htm> (дата обращения: 28.04.2024).
3. Применение методов искусственного интеллекта в системах видеонаблюдения URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metodov-iskusstvennogo-intellekta-v-sistemah-videonablyudeniya/viewer> (дата обращения: 28.04.2024).
4. Распознавание лиц на основе нейронных сетей: современные технологии URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspoznavanie-lits-na-osnove-neyronnyh-setey-sovremennye-tehnologii> (дата обращения: 28.04.2024).
5. Пустить ИИ в город: как нейросети используют в мегаполисах URL: <https://iz.ru/1559314/alena-svetunkova/pustit-ii-v-gorod-kak-neiroseti-ispolzuiut-v-megapolisakh> (дата обращения: 28.04.2024).
6. Распознавание образов с помощью искусственного интеллекта URL: <https://habr.com/ru/articles/709432/> (дата обращения: 28.04.2024).
7. Сверточная нейронная сеть, часть 1: структура, топология, функции активации и обучающее множество URL: <https://habr.com/ru/articles/348000/> (дата обращения: 28.04.2024).
8. Прогнозирование и распознавание объектов в видеопотоке с помощью глубокого обучения / А. Д. Черников // Международный научный журнал «Вестник науки». – 2023. – Т. 2. – № 9. – С. 209-215.
9. *Галицкий А. А.* Применение сверточных нейронных сетей для задачи детектирования объектов в реальном времени // ЭБ БГУ::естественные и точные науки::кибернетика/ Тезисы докладов. – Минск:2020
10. Безопасность умных городов URL: <http://lib.tsonline.ru/articles2/safe-city/> (дата обращения: 28.04.2024).

Косарева Екатерина Максимовна, магистрант кафедры проектирования информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь, город Минск, улица П.Бровки, 6, 220013, телефон: +375 (33) 353-97-38, email: kksrvvv@gmail.com.

Kosareva Ekaterina Maksimovna, Master student at the Department of Information and Computer Systems Design, Belarusian State University of Informatics and Radi-

УДК 004

Пекишев Даниил Владимирович

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПОИСКОВОГО СЕРВИСА В TELEGRAM С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ, МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

В данной статье дается характеристика работы поискового сервиса в telegram, который функционирует на основе применения современных методов, моделей и алгоритмов обработки информации. Цель проекта – создание удобного сервиса по поиску учетных записей, оказавшихся в открытом доступе. Задача – разработка программного комплекса для успешного внедрения его в приложение, которое предоставляет информацию о компрометации личных данных пользователей в сети, что снижает риск взлома аккаунтов. Актуальность исследования заключается в том, что проблема компрометации личных данных в интернете огромна и ее решение требует разработки новых, инновационных программных продуктов. И этот сервис один из них.

Telegram-бот, инновационный сервис, алгоритмы обработки информации, методы обработки информации, потеря персональных данных, защита аккаунтов, поисковый бот, базы данных, оптимизация, анализ утечек.

Pekishev Daniil Vladimirovich

OPTIMIZATION OF SEARCH SERVICE OPERATION IN TELEGRAM USING MODERN METHODS, MODELS AND INFORMATION PROCESSING ALGORITHMS

This article describes the operation of the search service in telegram, which operates based on the use of modern methods, models and algorithms for information processing. The goal of the project is to create a convenient service for searching for accounts that are in the public domain. The task is to develop a software package for its successful implementation in an application that provides information about the compromise of users' personal data on the network, which reduces the risk of account hacking. The relevance of the study lies in the fact that the problem of compromising

personal data on the Internet is enormous and its solution requires the development of new, innovative software products. And this service is one of them.

Telegram bot, innovative service, information processing algorithms, information processing methods, loss of personal data, account protection, search bot, databases, optimization, leak analysis.

Введение

Telegram – это тот мессенджер, который без преувеличения считается одним из самых популярных и востребованных в мире. В наше время telegram-боты стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, предлагая нам различные услуги, начиная от развлечений и заканчивая предоставлением ответов на серьезные поисковые запросы.

И чтобы обеспечить своевременную и точную обработку запрашиваемых данных, разработчикам ботов необходимо применять различные методы, модели и алгоритмы обработки информации, тем самым оптимизируя работу приложения, делая сервис более удобным при использовании, улучшая его качество и увеличивая скорость поиска [1,2,3,4,5].

Такие боты мгновенно обрабатывают запросы клиентов и намного сокращают время поиска информации для пользователя, что делает эти сервисы необходимыми в наш век высоких технологий и малого количества свободного времени у большинства людей [6]. Помимо этого, эти приложения специально разрабатываются для людей разных поколений: подростков, людей среднего и старшего возраста. Таким образом, аудитория клиентов огромна.

Кроме того, многие боты обрабатывают огромный массив личной информации пользователей, которая не должна оказаться в открытом доступе, поэтому к подобным программным продуктам предъявляют серьезные требования безопасности.

Мессенджеру telegram в этом отношении можно доверять, так как он характеризуется хорошей степенью защиты, надежен и прост при использовании.

Основная часть

Итак, в процессе работы над проектом был разработан telegram-бот по поиску учетных записей, оказавшихся в открытом доступе в интернете. Личные данные людей попадают в открытые источники по многим причинам – это и ошибки самих пользователей при работе в сети, и взломы киберпреступниками аккаунтов или сайтов с данными клиентов, также очень

часто причиной утечек данных служат вирусы и стиллеры на компьютерах пользователей, которые попадают на них вместе с программами.

Эти вирусы собирают сохранённые пароли из браузеров и другие данные, а потом отсылают их злоумышленникам.

Позже огромное количество таких баз собираются в коллекции «логов» и распространяются по интернету. В самых больших коллекциях сотни миллионов записей. При этом часто пользователи могут даже не догадываться, что их данные попали в открытый доступ таким образом, так как при обнаружении на компьютере вируса обычно его удаляют без смены паролей от аккаунтов на всех сохранённых сайтах. В дальнейшем полностью нерешенная проблема может привести к взломам этих аккаунтов и дополнительной компрометации личных данных.

В начале работы над проектом была поставлена конкретная задача: быстрое предоставление посредством telegram-бота полной информации о раскритиченных личных данных пользователя в сети. Для решения этой задачи была проделана огромная и кропотливая работа по определению всего функционала, по оформлению архитектуры сервиса, были написаны программы для создания визуального интерфейса и формирования удобного отчёта, а также разработаны алгоритмы быстрого поиска и преобразования найденных результатов в отчёт.

В дополнение к вышесказанному проведён анализ десятков тысяч уже попавших в открытый доступ утечек, из них собрана основная информация и проиндексирована для быстрого поиска. Проведена интеграция с другими сервисами, которая позволяет выполнять геолокацию по IP, дешифрование паролей и визуализацию координат из утечек на карте.

Также при помощи сторонних сервисов осуществляется перевод интерфейса на различные языки. В результате работы была собрана база данных из утечек размером более 6 ТБ. Для того, чтобы можно было выполнить достаточно быстрый поиск по такому большому объёму данных, использованы алгоритмы оптимизации.

Для ускорения множественных запросов применяется кэширование результатов поиска и параллельная обработка. Кроме того, используются различные методы оптимизации доступа к файлам, например их отображение в память по mmap, а также кэширование уже отображённых файлов.

При нечётком поиске по множеству параметров используются эвристические алгоритмы генерации списка подзапросов и анализа их реле-

вантности, а также системы одновременного выполнения нескольких связанных запросов, если они имеют общие параметры.

Для анализа полученных данных применяются методы парсинга сырых данных и алгоритмы преобразования их сперва в удобный формат json, а затем в понятный людям отчёт [7]. При этом данные обогащаются информацией о названии и дате утечки, а также дополняются описанием обстоятельств этой утечки, что позволяет проще воспринять информацию из отчёта.

Для взаимодействия между программой и telegram-ботом используется алгоритм long-polling, который подразумевает регулярный опрос серверов telegram и получение списка запросов, отправленных в бот. В ответ на эти запросы сервис отправляет сформированные отчёты, причём время ответа занимает доли секунды. В качестве математических моделей планируется использование алгоритмов гибридных нейронных сетей с целью реализации нечёткого поиска по растровым изображениям и хэш-отображениям лиц.

Выводы

Таким образом, оптимизация работы поискового сервиса в telegram с использованием современных методов, моделей и алгоритмов обработки информации позволяет значительно улучшить качество поиска, сделать его более точным и быстрым, что, помимо прочего, гарантирует удобство при использовании приложения и подтверждает хороший функционал программного продукта [8,9,10].

Разработанный бот может по запросу (по ФИО, по почте, по телефону и по другим данным) показать, какие конфиденциальные данные конкретного человека раскрыты в сети, что позволит ему вовремя принять меры, защищающие его аккаунт от несанкционированного проникновения и использования этих данных ему во вред.

Бот даёт ёмкие и короткие ответы на запросы, при этом пользователю не надо звонить и тратить свое время, имеется интуитивно-понятный интерфейс, есть связь с администратором, обслуживает сразу огромную аудиторию пользователей, выдерживая при этом дополнительную нагрузку, обрабатывает большое количество данных. Он надёжен и необходим в век цифровых вызовов и разработок инновационных технологий.

Создание таких сервисов имеет большие перспективы, так как информационная защита клиента в сети – это первостепенная задача, над решением которой работают профессионалы во всем мире. Недаром количе-

ство ботов растет с математической прогрессией. Они неумолимо работают круглые сутки, постоянно улучшается их функционал, ими пользуются в быту и на предприятиях.

Разработанный сервис предоставляет новые возможности для бизнеса. Организациям необходимо сохранять в тайне личные данные своих клиентов, а данный бот может легко проверить эти данные на надежность и предупредить, если есть опасность компрометации учетных записей клиентов компаний, что позволит принять своевременные меры по защите этих данных. Так что за такими ботами будущее.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Горитов А.Н.* Структуры и алгоритмы обработки данных в ЭВМ: Учебное пособие. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2000. – 122 с.

2. *Вирт Н.* Алгоритмы и структуры данных. – М.: Мир, 1989. -360 с.

3. *Макконелл Дж.* Основы современных алгоритмов. 2-е дополненное издание.- Москва: Техносфера, 2004. – 368 с.

4. *Ускова О.Ф.* Программирование алгоритмов обработки данных: Учебное пособие. – СПб: БХВ – Петербург, 2003. – 188 с.

5. *Бежанова М.М.* Практическое программирование. Структуры данных и алгоритмы. – М.: Логос, 2001. – 223 с.

6. *Шумилина М.А., Коробко А.В.* Разработка чат-бота на языке программирования PYTHON в мессенджере «TELEGRAM» // Научные известия. - 2022. – С. 47-54.

7. *Карабак И.И., Зорин К.А.* Парсинг TELEGRAM - каналов как элемент системы автоматизированного анализа информации, полученной из сети интернет // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2022. - № 1(57). – С. 9-17.-DOI: 10.54398/2074-1707_2022_1_9.

8. *Пекшиев Д.В.* Программа для мониторинга и выявления угроз взлома аккаунтов (2023). Свидетельство гос. регистрации программы для ЭВМ

9. № 2023610574.

10. *Пекшиев Д.В.* Программа для обработки и унификации файлов с данными (2023). Свидетельство гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023687418.

11. *Пекшиев Д.В.* Программа для индексации набора файлов для бинарного поиска (2023). Свидетельство гос. регистрации программы для ЭВМ.

№ 2023687348.

Пекишев Даниил Владимирович, аспирант Кубанского государственного университета, Россия, город Краснодар, улица Ставропольская 149, 350040, телефон: +7-900-229-22-65, email: AnaAble1974@gmail.com.

Pekishev Daniil Vladimirovich, graduate student of Kuban State University, Russia, Krasnodar, Stavropolskaya street 149, 350040, phone: +7-900-229-22-65, email: AnaAble1974@gmail.com.

УДК 004.942

Хайруллина Лилия Эмитовна, Хакимов Зулфат Ниязович,
Хабибуллина Гузель Забировна

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ WOLFRAM МАТЕМАТИКА В ВЕЙВЛЕТ-ОБРАБОТКЕ РЯДОВ ФИНАНСОВЫХ ДАННЫХ

В анализе финансовых временных рядов одним из ключевых моментов является предварительная обработка данных. Целью данной работы является демонстрация возможностей системы Wolfram Mathematica в препроцессинге финансовых данных. В качестве объекта исследования выбрана история ежедневных котировок акций Сбербанка за последние 3 года. Трешолдинг проводился на ортогональном вейвлете Добеши 6-го порядка. По соотношению сигнал/шум наиболее привлекательным оказался способ очистки на многоуровневом пороге на основе несмещенной оценки риска Штейна.

Финансовый ряд, трешолдинг, вейвлеты, Wolfram Mathematica.

Khairullina Lilia Emitovna, Khakimov Zulfat Niyazovich,
Khabibullina Guzel Zabirovna

APPLICATION OF WOLFRAM MATHEMATICA TECHNOLOGIES IN THE WAVELET PROCESSING OF FINANCIAL DATA SERIES

In the analysis of financial time series, one of the key points is the preprocessing of data. The purpose of this work is to demonstrate the capabilities of the Wolfram Mathematica system in financial data preprocessing. The history of Sberbank's daily stock quotes over the past 3 years has been selected as the object of the study. Tresholding was carried out on orthogonal Daubechies wavelets of the 6th order. In terms of signal-to-noise ratio, the most attractive method turned out to be cleaning at a multi-level threshold based on an unbiased Stein risk assessment.

Financial series, threading, wavelets, Wolfram Mathematica.

Введение. Анализ временных рядов финансовых данных является сложной задачей из-за их нелинейности и нестационарности [1-4]. Нестационарность выражается в изменчивости статистических характеристик ряда (математического ожидания, дисперсии) с течением времени и проявляется в виде тренда, цикличности, сезонности, случайном блуждании или их сочетании. Нестационарные сигналы чаще всего состоят из кратковременных высокочастотных и длительных низкочастотных компонентов, поэтому для анализа таких сигналов предпочтительнее использовать вейвлет-анализ. Чаще всего при проведении вейвлет-анализа исследователями используется система Matlab, языки программирования R или Python. В настоящее время актуальной научной теоретической и практической задачей является поиск новых программно-аппаратных средств, позволяющих быстро и качественно проводить сложные вычисления. Одним из лидеров среди существующих программных продуктов является Wolfram Mathematica. К преимуществам применения данной системы относится и то, что благодаря возможности облачных вычислений (WolframCloud) пользователь становится слабозависимым от аппаратного обеспечения. Данная статья имеет своей целью демонстрацию предварительной обработки временного ряда финансовых данных с помощью вейвлет-анализа в системе компьютерной математики Wolfram Mathematica.

Вейвлет-анализ и пороговая обработка сигнала. Вейвлет-преобразование сигнала $f(t)$ состоит в его разложении в ряд:

$$f(t) = c_0 \psi(t) + \sum_{j=1}^N \sum_{k=0}^{2^j-1} c_{jk} \varphi_{jk}(t),$$

где $\psi(t)$ – называют отцовским вейвлетом, $\varphi_{jk}(t)$ – функции, полученные из материнского вейвлета $\varphi(t)$ путем сжатия и сдвига. Эти функции удовлетворяют условиям

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(t) dt = 1, \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0.$$

Согласно теории многоуровневой аппроксимации сигналов, построенной Mallat [5], любой сигнал можно представить в виде суммы аппроксимирующего и детализирующих сигналов. При этом коэффициенты аппроксимации содержат полезную информацию о поведении сигнала (грубое приближение сигнала). Коэффициенты детализации на каждом уровне разложения содержат уточняющую информацию о сигнале. В этих же коэффициентах могут содержаться шумы - случайные колебания данных. Они не несут полезной информации о главных тенденциях временного ряда.

да данных и могут исказить интерпретацию сигнала. Поэтому анализ временных рядов целесообразно предварять очисткой от шумов. Одним из способов удаления шумов является трешолдинг - разложение сигнала на вейвлет-спектр и последующее обнулении тех вейвлет-коэффициентов разложения, значения которых меньше определенного порогового значения [7-9].

Существуют разные виды пороговой обработки сигнала, из которых выделяют мягкий и жесткий. Жесткий трешолдинг предполагает обнуление всех коэффициентов, меньших заданного порога, остальные коэффициенты сохраняются неизменными. Мягкий трешолдинг дополнительно предполагает уменьшение по модулю всех остальных коэффициентов на величину порога. Порог может быть единым для всех коэффициентов и уровней разложения или различным в зависимости от частотных особенностей сигнала. От выбора порогового уровня зависит качество сглаживания сигнала – слишком малый порог не устранил шумы, слишком большой может привести к потере коэффициентов, содержащих существенную информацию о сигнале [7].

Инструменты вейвлет-обработки в Wolfram Mathematica. Язык Wolfram Language обеспечивает полнофункциональную реализацию вейвлет-анализа [10]. Дискретное вейвлет-преобразование реализуется с помощью функции `DiscreteWaveletTransform[]`. По умолчанию применяется вейвлет Хаара. В качестве материнского вейвлета в зависимости от характерных особенностей сигнала можно использовать вейвлеты: `BiorthogonalSplineWavelet[]`, `CoifletWavelet[]`, `DaubeshiesWavelet[]` и др.

Восстановление сигнала осуществляется с помощью функции `InverseWaveletTransform []`.

Для пороговой очистки используется функция `WaveletThreshold`:

`WaveletThreshold[dwd, tspec, wind]`,

где *dwd* -коэффициенты дискретного вейвлет-преобразования, *tspec* – характеристика порога, *wind* – индексы вейвлет- коэффициентов, к которым будет применяться пороговая обработка.

В качестве характеристики порога можно выбрать встроенные: `Hard` (жесткая обработка с порогом δ), `Soft` (мягкая обработка с порогом δ) и некоторые другие. Пороговое значение δ также можно выбрать из имеющихся, например:

- «SURE» - Stein's unbiased risk estimation, несмещенная оценка риска Штейна,

- «SURELevel» - порог «SURE», применяемый для каждого уровня разложения сигнала,

- «Universal» - универсальный порог Донохо-Джонстона, и другие.

3. Эмпирическое исследование. В качестве объекта исследования выберем историю котировок акций Сбербанка за период с 1.01.2020 по 30.04.2024, в качестве единицы исследования примем ежедневные торги. Фурье-спектр этого ряда наглядно демонстрирует наличие высокочастотных шумов (рис.1):

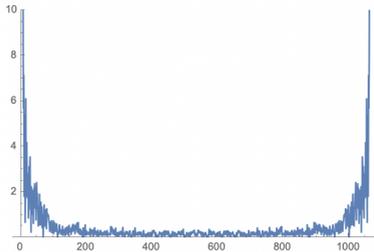


Рис.1 Фурье-спектр сигнала

Эффективность процедуры очистки сигнала в значительной степени зависит от вейвлет-базиса. Для выбора оптимального вейвлета будем использовать критерий минимума энтропий:

$$WE = - \sum_{j=1}^N p_j \ln(p_j),$$

где $p_j = \frac{E_j}{\sum_{j=1}^N E_j}$ - относительная вейвлет-энергия, $E_j = \sum_k d_{j,k}^2$, N -

максимальный уровень разложения. В качестве наилучшей выберем ту вейвлет-функцию, которой будет соответствовать наименьшая энтропия.

Для расчета вейвлет-энтропии использовалась опция EnergyFraction функции DiscreteWaveletTransform системы Wolfram Mathematica:

```
dwd = DiscreteWaveletTransform[dat, DaubechiesWavelet[4], 4]
efrac = dwd["EnergyFraction"];
ED4 = -Sum[efrac[[i, 2]] Log[efrac[[i, 2]]], {i, 1, Length[efrac]}
```

Энтропия рассчитывалась для вейвлетов Хаара, Мейера, Добеши и Симлета разных порядков до 4 уровня разложения. Анализ вейвлет-

энтропий показал, что наиболее предпочтительным является использование вейвлета Добеши 6-го порядка.

Очистка от шумов проводилась по детализирующим коэффициентам. В качестве порогового значения использовалась встроенная несмещенная оценка риска Штейна и его модификация, порог Донохо-Джонстона. В Wolfram Mathematica очистка сигнала реализуется командами:

```
dwt = DiscreteWaveletTransform[dat, DaubechiesWavelet[6],  
4]
```

```
WT = WaveletThreshold[dwt, {"Hard", "SURE"}];
```

```
datthr = InverseWaveletTransform[WT];
```

Качество очистки оценивалось с помощью отношения сигнал/шум, определяемого формулой:

$$SNR = 10 \lg \frac{\sigma_{восст}^2}{\sigma_{шум}^2},$$

где $\sigma_{восст}^2$ – дисперсия восстановленного сигнала, $\sigma_{шум}^2$ – дисперсия шума.

Результаты очистки временного финансового ряда сведем в таблицу.

Табл.1

Результаты пороговой очистки вейвлетом Добеши 6 порядка

Порог	Шумовой порог на каждом уровне разложения	SNR при пороговой обработке «Hard»	SNR при пороговой обработке «Soft»
"SURE"	1) 0,443732 2) 0,443732 3) 0,443732 4) 0,443732	56,822	44,286
"SURELevel"	1) 0,443732 2) 0,340379 3) 0,007522 4) 0,213248	57,492	45,849
"Universal"	1) 7,43896 2) 7,43896 3) 7,43896 4) 7,43896	28,274	25,509

Выводы. Система Wolfram Mathematica обладает мощным функционалом, позволяющим проводить качественную обработку временных рядов. Анализ полученных результатов показал, что на качество очистки сигнала влияет выбор базисного вейвлета – в нашем случае предпочтительным оказалось использование вейвлета Добеши 6-го порядка. Максимальное отношение сигнал/шум достигается при жесткой пороговой обработке с порогом «SURELevel». Проведенные исследования показали, что вейвлет-трешолдинг над детализирующими коэффициентами вейвлет-разложения является эффективным методом подавления выбросов и флуктуаций временного ряда. Очищенный сигнал повторяет форму исходного сигнала, все пики хорошо выражены

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Yasar M., Ray A.* Trend detection and data mining via wavelet and Hilbert-Huang transforms. Proceedings of the American Control Conference. 2008. p. 4292 - 4297. DOI = 10.1109/ACC.2008.4587168.
2. *Chaovalit P., Gangopadhyay A., Karabatis G. and Chen Z.* 2011. Discrete wavelet transform-based time series analysis and mining. ACM Comput. Surv. 43, 2, Article 6 (January 2011), 37 pages. URL://doi.acm.org/10.1145/1883612.1883613
3. *Lee H.Y., Beh W.L. & Lem K.H.* Wavelet as a Viable Alternative for Time Series Forecasting // Austrian Journal of Statistics. 2020. 49, p.38-47.
4. *Shaikh W., Syed F., Pandhiani S. & Solangi M.* Wavelet Decomposition Impacts on Traditional Forecasting Time Series Models // Computer Modeling in Engineering & Sciences. 2022. V.130. p.1517-1532. DOI=10.32604/cmescs.2022.017822.
5. *Mallat S.G.* A Theory For Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation / IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, №11, pp. 674–693.
6. *Манонина И.В.* Обработка детализирующих вейвлет-коэффициентов для повышения точности рефлектометрических измерений // Научный вестник МГТУ ГА. 2016. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obrabotka-detaliziruyuschih-veyvlet-koeffitsientov-dlya-povysheniya-tochnosti-reflektometricheskih-izmereniy> (дата обращения: 22.04.2024).
7. *Белов А.А.* Сглаживание временных рядов на основе вейвлет-преобразования в системах автоматизированного экологического мониторинга / А.А. Белов, А.Ю. Проскуряков // Методы и устройства передачи и обработки информации. - 2010. - № 1 (12). - С. 21-24.

8. *Кропотов Ю.А., Белов А.А., Проскуряков А.Ю.* Обработка временных рядов с применением вейвлет-преобразований для повышения точности представления информации // Транспортное машиностроение. 2018. №8 (69). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obrabotka-vremennyh-ryadov-s-primeneniem-veyvlet-preobrazovaniy-dlya-povysheniya-tochnosti-predstavleniya-informatsii> (дата обращения: 22.04.2024).

9. *Московский С.Б., Сергеев А.Н., Лалина Н.А.* Очистка сигнала от шумов с использованием вейвлет-преобразования // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2015. № 2 (15) URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/1958>

10. Wavelet Analysis. URL: <https://reference.wolfram.com/language/guide/Wavelets.html>

Хайруллина Лилия Эмитовна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных систем Института вычислительной математики и информационных технологий КФУ, Россия, город Казань, улица Кремлевская, 35, 420111, телефон: +7 (9272) 46-40-03, email: lxayrullina@yandex.ru.

Хакимов Зульфат Ниязович, аспирант, Институт вычислительной математики и информационных технологий КФУ, Россия, город Казань, улица Кремлевская, 35, 420111, email: znkhakimov@stud.kpfu.ru.

Хабидуллина Гузель Забировна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры теории относительности и гравитации Института физики КФУ, Россия, город Казань, улица Кремлёвская, 16а, 420008, телефон +7(9274)05-70-21, email: hgz1980@rambler.ru

Khairullina Lilia Emitovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems of the Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of KFU, Kazan, 35 Kremlevskaya Street, 420111, Russia, phone: +7 (9272) 46-40-03, email: lxayrullina@yandex.ru.

Khakimov Zulfat Niyazovich, PhD student, Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of KFU, Kazan, 35 Kremlevskaya Street, 420111, Russia, email: znkhakimov@stud.kpfu.ru

Khabibullina Guzel Zabirovna, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Relativity and Gravity at the Institute of Physics of KFU, Kazan, Russia, Kremlevskaya Street, 16a, 420008, phone +7(9274)05-70-21, email: hgz1980@rambler.ru

УДК: 004.932: 519.64

Васильев Константин Александрович

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗМЫТИЯ ДЛЯ МАСКИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ И УРОВНЕНИЯ ФРЕДГОЛЬМА ПЕРВОГО РОДА ДЛЯ ЕЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Маскирование информации является важной и актуальной проблемой при передаче информации по незащищенным каналам связи. При этом возникает новая задача – корректное восстановление информации на принимающей стороне. Данная задача относится к классу некорректных задач и потому требуются специальные математические методы для ее решения. В статье приведены примеры маскирования информации и описывается один из возможных способы ее восстановления на принимающей стороне.

Размытие изображения, ядро оператора, стабилизирующий функционал, параметр регуляризации, восстановленное изображение.

Vasilev Konstantin Alexandrovich

USING OF BLUR FOR MASKING INFORMATION AND FREDHOLM'S EQUATION OF FIRST KIND FOR RESTORATION

Masking of information is an important and actual problem for transmitting information over unsecured communication channels. In this case, a new task arises - the correct restoration of information on the receiving side. This problem belongs to the class of ill-posed problems and therefore requires special mathematical methods to solve it. The article provides examples of masking information and describes one of the possible ways to restore it on the removable side.

Image blur, operator kernel, stabilizing functionality, regularization parameter, reconstructed image.

ВВЕДЕНИЕ

Системы технического зрения (СТЗ) призваны и во многих случаях уже решают задачи по дополнению или даже замене человека в областях деятельности, связанных со сбором и анализом зрительной информации. Чтобы СТЗ могла корректно распознать изображение, нужно предварительно удалить шум, который мог возникнуть в процессе оцифровки. Для этого, в системе предварительной обработки изображения, используются

фильтры, на основе свертки ядра (маски) оператора размером $(2k + 1) \times (2k + 1)$ с фрагментом изображения [1]

$$AI_{ij} = a * I = \sum_{s=-k}^k \sum_{t=-k}^k \alpha_{st} I_{i+s, j+t} \quad (1)$$

При увеличении размера ядра, сильнее подавляется дискретный белый шум, однако при этом растет и размытие изображения. Почти во всех областях, где применяется СТЗ, размытие осложняет решение задач более высокого уровня, таких как сегментация изображения или детектирование определенного набора интересующих точек и областей изображения.

Имеет место и обратный, положительный эффект, который происходит при размытии изображения – это маскирование информации, которая оказалась на изображении намеренно или же случайно. Так, например, в сферических изображениях улиц городов (Яндекс или Google карты) размываются лица прохожих и номера автомобилей для соблюдения закона о персональных данных.

Для процедуры маскирования изображений применяется достаточно сложные математические методы, и для получения доступа к сокрытой конфиденциальной информации третьим лицам потребуется серьезные временные и финансовые затраты, которые в редких случаях принесут эффект.

При маскировании информации, передаваемой по незащищенному каналу, возникает другая проблема - проблема восстановления размытых изображений на принимающей стороне. При этом восстановление должно быть максимально корректным и минимально затратным, но, в то же время, затруднено для третьих лиц. Некорректность обратной задачи создает дополнительные преграды на пути несанкционированного доступа к передаваемой информации.

ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

Алгоритм генерирования сигнала с несовершенной аппаратной функцией описывается интегральным уравнением Фредгольма 1-го рода [2-5]

$$\int_a^b K(x, s) \cdot \varphi(s) ds = f(x), \quad a \leq x, s \leq b \quad (2)$$

для одномерного сигнала и

$$\int_c^d \int_a^b K(x, y, t, s) \cdot \varphi(t, s) dt ds = f(x, y), \quad x, y \in [a, b] \times [c, d] \quad (3)$$

- для двумерного (изображения). В (2) и (3) $K(x, s)$, $K(x, y, t, s)$ - ядра интегрального уравнения (аппаратная функция прибора); $f(x)$, $f(x, y)$ - наблюдаемые сигналы (изображения); $\varphi(s)$, $\varphi(t, s)$ - истинные сигналы, которые должны быть найдены в результате решения уравнений (2) и (3). Похожие задачи появляются в компьютерной томографии, рентгенографии и экспериментах по рассеянию частиц [2-4].

Проблема, возникающая при восстановлении сигнала в реальных системах, заключается в том, что правая часть уравнения (2) или (3) – функция f - известна неточно. Вместо нее наблюдается функция $\tilde{f}_\delta = f + \xi$ такая, что : $\|\tilde{f}_\delta - f\|_2 \leq \delta$. При этом, как известно [2], даже малые изменения функции f могут приводить к большим изменениям результата решения уравнения (2) или (3). Поэтому прямое использование обратного оператор \mathbf{A}^{-1} для нахождения решения задачи невозможно. Распространенный подход к поиску квазиоптимального решения заключается в замене исходной некорректной задачи задачей условной минимизации [2]:

$$(\mathbf{R}^T \mathbf{R} + \alpha \mathbf{W}) \cdot \Phi = \mathbf{R}^T \mathbf{F}, \quad (4)$$

Матрица \mathbf{R} порождена вектор-строкой $(r_k, r_{k-1}, \dots, r_1, r_0, r_1, \dots, r_{k-1}, r_k)$. Каждая следующая строка этой матрицы получается в результате циклического сдвига на одну позицию предыдущей строки. При этом матрица \mathbf{W} в (4) будет совпадать с единичной матрицей в случае поиска решения уравнения Эйлера в метрике пространства $\mathbf{K}^* \mathbf{K} \varphi$. Введем обозначения $\mathbf{B} = \mathbf{R}^T \mathbf{R} + \alpha \mathbf{E}$, $\mathbf{V} = \mathbf{R}^T \mathbf{F}$. В результате система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) (4) примет следующий вид

$$\mathbf{B} \cdot \Phi = \mathbf{V}. \quad (5)$$

Матрица \mathbf{B} в данной СЛАУ является симметричной, положительно определенной и. теплицевой [6]. Значит, для решения СЛАУ (5) можно использовать устойчивые к вычислительным ошибкам, что важно для некорректных задач, и более быстрые алгоритмы. Это либо метод квадратного корня [6, 7], либо метод решения СЛАУ с теплицевой основной матрицей [6].

В данной работе поиск оптимального решения СЛАУ (5) реализован в метрике пространства $L_2[a, b]$ с теплицевой основной матрицей \mathbf{B} по следующему алгоритму [5]:

- задается монотонно убывающая последовательность $1, 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, \dots$ значений параметра регуляризации α ;

- для каждого значения параметра регуляризации α_k формируется и решается СЛАУ (8). В результате получается параметрическое семейство решений $\mathbf{Y}_i = \mathbf{Y}(\alpha_i)$;

- начиная со второго шага (со второй СЛАУ) вычисляется уклонение $\delta_i = \|\mathbf{Y}_i - \mathbf{Y}_{i-1}\|_2$ в евклидовой метрике текущего вектора \mathbf{Y}_i от предыдущего \mathbf{Y}_{i-1} ;

- начиная с $i = 4$ проверяется выполнение неравенств
$$\begin{cases} \delta_i < \delta_{i-1}, \\ \delta_i < \delta_{i+1}. \end{cases}$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для генерации ядра искажающего оператора применялась порождающая функция вида:

$$K(x, s) = \lambda \exp\left(-\frac{(x-s)^2}{\sigma^2}\right), \quad (6)$$

где $\lambda = 1$, s - центр ядра, σ - параметр, от которого зависит длина ненулевой части ядра. Функция (6) определена на всей числовой оси, но при этом $K(x, s) \rightarrow 0$ при $x \rightarrow \infty$. Поэтому «хвосты» функции $K(x, s)$ обрезаются. В результате получается вектор-строка $(r_k, r_{k-1}, \dots, r_1, r_0, r_1, \dots, r_{k-1}, r_k)$ конечной длины $(2k + 1)$.

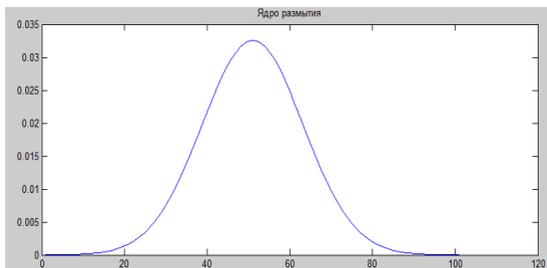


Рис. 1. Ядро размытия длины 101

Подбор параметров в формуле (6), обеспечивающих формирование вектор-строки такой длины достигается выполнением условий: $r_k = 10^{-6}$ и $\sum_{i=-k}^k r_i = 1$. В итоге, разностное ядро длины $2k+1=101$ имеет следующий вид (рис.1):

Затем формировалась матрица \mathbf{R} , в результате умножения которой на каждую строку изображения (на транспонированную матрицу \mathbf{I}^T) каждой цветовой составляющей матрицы исходного изображения \mathbf{I} . На рис.

2,а и 2,б приведены исходное текстовое изображение и результат его размытия при указанных выше размерах вектор-строки $(r_k, r_{k-1}, \dots, r_1, r_0, r_1, \dots, r_{k-1}, r_k)$, порождающей ядро размытия \mathbf{R} .

Для начала попробуем размыть и восстановить одну цветовую составляющую изображения, которая по сути своей является строкой пикселей с разными яркостными значениями (рис. 2)

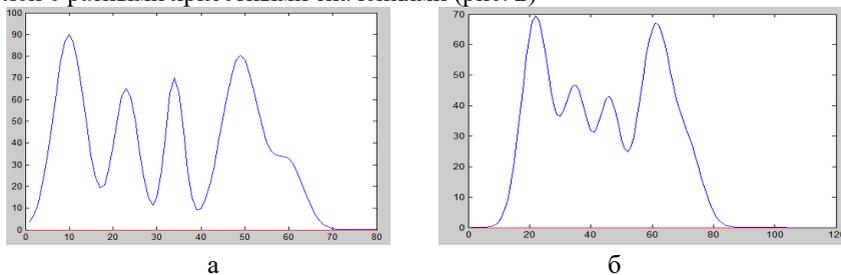


Рис. 2. Исходный одномерный сигнал (а), размытый сигнал (б)

Уже при размере ядре 25, наблюдаются искажения пиков сигнала (рис. 2, б).

Для восстановления сигнала используем описанный выше алгоритм. Составим матрицу \mathbf{R} и решим СЛАУ $\mathbf{B} \cdot \Phi = \mathbf{V}$ с помощью теплицевой матрицы. В результате получим параметрическое семейство решений $\mathbf{Y}_i = \mathbf{Y}(\alpha_i)$ (рис. 3,а). Квазиоптимальное решение получено при $\alpha = 10^{-10}$ (рис. 3, б).

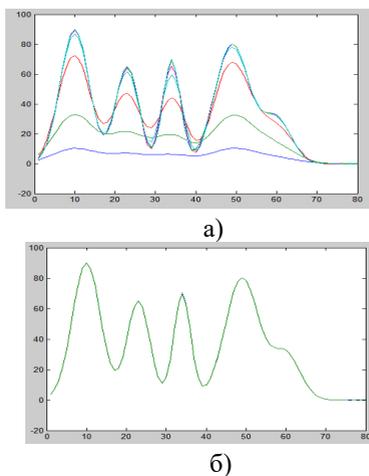


Рис. 3. Восстановленные сигналы, при различных значениях α

Теперь возьмем изображения текста (рис.4,а) и размоем его. Начиная с ядра размытия размером 21, буквы текста становятся малоразличимы (рис.4,б)

Следовательно, разруха не в клозетах, а в головах. Значит, когда эти баритоны кричат «бей разруху!» – я смеюсь. Клянусь вам, мне смешно! Это означает, что каждый из них должен лупить себя по затылку! И вот, когда он выплупит из себя всякие галлюцинации и займётся чисткой сараев – прямым своим делом, – разруха исчезнет сама собой. Двум богам служить нельзя! Невозможно в одно и то же время подметать трамвайные пути и устраивать судьбы каких-то испанских оборванцев!

а



б

Рис. 4. Исходное изображение текста (а) и результат его размытия (б)

Во время размытия, с левого и правого края изображения появляются черные полосы (рис.4,б). Добавим к исходному изображению дополнительные пиксели слева и справа. Причем для дополнительных пикселей слева отобразим первые k элементов матрицы исходного изображения слева. Для дополнительных пикселей справа - последние k элементов каждой строки справа. Тогда $\dim(I_{ij}) = M * (N + 2n)$, где M – высота изображения, а N – ширина. После размытия дополненного изображения черные полосы остаются, но они приходятся на дополнительные пиксели (рис.5,а). После отбрасывания дополнительных пикселей, получаем корректное размытие.

Аналогично восстановлению исходного одномерного сигнала, проведем восстановление размытого изображения, используя следующие значения параметра регуляризации α : $[10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}]$. Наиболее близким к исходному изображению оказалось восстановленное изображение при значении параметра регуляризации $\alpha = 10^{-5}$ (рис.5).

Следовательно, разруха не в клозетах, а в головах. Значит, когда эти баритоны кричат «бей разруху!» – я смеюсь. Клянусь вам, мне смешно! Это означает, что каждый из них должен лупить себя по затылку! И вот, когда он выплупит из себя всякие галлюцинации и займётся чисткой сараев – прямым своим делом, – разруха исчезнет сама собой. Двум богам служить нельзя! Невозможно в одно и то же время подметать трамвайные пути и устраивать судьбы каких-то испанских оборванцев!

Рис. 5. Восстановленное изображение при $\alpha = 10^{-5}$

Задачи восстановления сигналов, описываемых математическими моделями в виде некорректных задач возникают в различных областях науки и практики. Примеры таких задач содержатся, в частности, в работах [8, 9].

ВЫВОДЫ

Сформулированы задача маскирования информации с использованием матричных сверточных операторов и задача восстановления размытой информации на принимающей стороне. Рассмотрен подход на основе регуляризации А.Н. Тихонова, в рамках которого задача сводится к решению параметрического семейства систем линейных алгебраических уравнений с теплоцевой основной матрицей. Приведены экспериментальные результаты размытия и восстановления как одномерного сигнала, так и изображения с текстом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Новиков А. И., Пронькин А. В.* Методы цифровой обработки изображений подстилающей поверхности. М.: Горячая линия-Телеком. 2023. 224 с.
2. *Тихонов А.Н., Арсенин В.Я., Тимонов А.А.* Математические задачи компьютерной томографии. - М.: Наука, 1987. – 160 с.
3. *Майорова В.И., Банников А.М., Зайцев К.И.* Математическое моделирование процесса радиометрической коррекции снимков дистанционного зондирования Земли // Инженерный журнал: наука и инновации.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 20 с.
4. *Гончарский А.В.* Обратные задачи оптики // Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 1986. №3. – С. 59-76
5. *Новиков А.И., Шамин Н. О.* Исследование регуляризационного метода восстановления размытых изображений // Вестник РГРТУ, № 72. С. 106-115.
6. *Воеводин В.В., Тьртышников Е.Е.* Вычислительные процессы с теплоцевыми матрицами. - М.: Наука, 1987. – 320 с.
7. *Демидович Б.П., Марон И.А.* Основы вычислительной математики. - М.: Наука, 1966. – 664 с.
8. *Борисов В.В., Новиков А.И., Чураков Е.П.* Применение факторного анализа для исследования послонных спектров // Электронное моделирование. 1994. Т. 16. №1. – 80-83.
9. *Майорова В.И., Банников А.М., Зайцев К.И.* Математическое моделирование процесса радиометрической коррекции снимков дистанционного зондирования

ния Земли // Инженерный журнал: наука и инновации.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 20 с.

10. *Огородников И.Н.* Введение в обратные задачи физической диагностики: специальные главы высшей математики для технологов. Издательство Уральского университета 2017.

Васильев Константин Александрович, аспирант Рязанского государственного радиотехнического университета им. В.Ф. Уткина, Россия, город Рязань, улица Гагарина 59/1, телефон: 79156069304, email: cornholio62@yandex.ru

Vasilev Konstantin Alexandrovich, post-graduate of Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Russia, Ryazan, Gagarina str 59/1, phone: 79156069304, email: cornholio62@yandex.ru.

УДК 004.94

Хлуденев Александр Владимирович

PSPICE МОДЕЛИ БИС ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

В работе рассматривается задача формирования моделей цифровых БИС системного уровня, предназначенных для виртуального прототипирования схем печатных узлов. Используются инструменты симулятора схем PSpice A/D. Предлагаются решения по реализации PSpice SystemC моделей специализированных БИС, в которых реализован конвейер обработки данных. Рассмотрены способы обеспечения точности и учета временных ограничений на границе интерфейса БИС.

Печатный узел, виртуальное прототипирование, интегральная схема (ИС), большая интегральная схема (БИС), модель системного уровня, симулятор схем, задержка распространения, временное ограничение.

Khludenev Alexander Vladimirovich

PSPICE LSI MODELS FOR VIRTUAL PROTOTYPING OF PCB ASSEMBLIES

The paper examines the problem of forming system-level LSI models intended for virtual prototyping of printed circuit board (PCB) assemblies. PSpice A/D circuit simulator tools are used. Solutions are proposed for the implementation of PSpice Sys-

temC models of application-specific standard products, in which a data processing pipeline is implemented. The means of ensuring accuracy and allowing for time constraints at the LSI interface are considered.

PCB assembly, virtual prototyping, integrated circuit (IC), large scale integration (LSI), system-level model, circuit simulator, propagation delay, time constraint.

Введение

Основной элементной базой современной электроники являются БИС. В конечных изделиях все комплектующие, включая БИС, другие ИС и дискретные компоненты, устанавливаются на печатные платы, разработку которых выполняют, используя инструменты САПР печатных узлов [1]. Виртуальное прототипирование выполняют в процессе разработки новых изделий с целью проверки полученных проектных решений перед созданием физического образца, используя их компьютерные модели. Для верификации схем печатных узлов обычно используют SPICE симуляторы. Рекомендации по разработке и применению SPICE моделей устанавливает комплекс национальных стандартов [2].

В состав САПР печатных узлов OrCAD PCB Designer входит симулятор PSpice A/D, способный моделировать работу схем, построенных из аналоговых и цифровых ИС и дискретных элементов. PSpice макромоделли цифровых ИС реализованы на уровне логических вентилях. Использовать аналогичные модели для БИС неприемлемо по затратам машинного времени. Начиная с версии 17.2, симулятор PSpice A/D способен работать с моделями системного уровня, реализованными на языках C/C++, SystemC и Verilog-A. В библиотеках OrCAD PCB Designer отсутствуют готовые модели БИС. Инструменты системного моделирования PSpice A/D ориентированы на выполнение ускоренного анализа схем печатных узлов, включающих до нескольких БИС. Проектно-ориентированные модели БИС должны быть экономичными и обеспечивать требуемую точность на границе их внешнего интерфейса. Разработку таких моделей для своих проектов должны выполнять пользователи САПР печатных узлов. Исследование путей реализации PSpice C/C++/SystemC моделей цифровых БИС является актуальной задачей. В работе исследуются пути построения PSpice SystemC моделей БИС с аппаратной реализацией алгоритма.

Основная часть

К моделям системного уровня относят модели, построенные на уровнях абстракции выше уровня регистровых передач (Register transfer level

(RTL)) [3]. Средства системного моделирования появились и развивались как инструмент верификации проектов сложных цифровых БИС [4]. SystemC модели БИС, в которых алгоритмы обработки данных реализованы аппаратно, могут быть выполнены на различных уровнях абстракции [5]:

- функциональных (поведенческих) моделей, не учитывающих временные параметры;
- функциональных моделей, учитывающих время протекающих процессов с точностью до такта синхронизации на границе внешних выводов;
- моделей на уровне регистровых передач.

Основными задачами виртуального прототипирования схем цифровых устройств в PSpice A/D являются обнаружение временного рассогласования сигналов, рисков сбоя, нарушений условий синхронизации. С этой целью в макромоделе ИС включены временные модели, в которых учитываются разброс задержек распространения сигналов и временные ограничения для поступающих на входы сигналов с точностью до такта моделирования.

Макромоделю цифровых ИС в PSpice A/D имеют вложенную организацию. Внешний контейнер выполнен как подсхема, элементами которой могут быть пятизначные логические примитивы (вентили, триггеры) или функциональный примитив LOGICEXP, а также примитивы матрицы задержек PINDLY и временных ограничений CONSTRAINT. Динамические параметры логических вентилях и функциональных примитивов могут быть заданы временной моделью примитива типа ugate, трехстабильных буферов - моделью типа tgate. Динамические параметры и временные ограничения для триггеров задаются временной моделью типа ueff. В модели типа ugate задаются одинаковые значения задержек для всех путей распространения сигналов. Если в примитиве LOGICEXP необходимо учитывать разные значения задержек для различных путей, то вместо модели ugate используют примитив матрицы задержек PINDLY. Временные ограничения для сигналов на входах синхронных автоматов в составе LOGICEXP можно задать, используя примитив CONSTRAINT [6].

Если к выводам цифровых ИС подключены дискретные элементы или аналоговые ИС, то PSpice A/D автоматически вставляет между ними подсхемы аналого-цифрового AtoD или цифро-аналогового DtoA интерфейса для преобразования между уровнями напряжения и логическими состоя-

ниями цифровых входов и выходов. Тип подсхем DtoA и AtoD задается моделью вход - выход.

Для PSpice макромоделей системного уровня сохранена стандартная организация, при этом функциональной моделью является примитив LOGICEXP с квалификатором C_MODEL и ссылкой на dll файл исполняемого модуля модели. Взаимодействие вычислительного ядра PSpice A/D с моделями устройств системного уровня обеспечивает Device Modeling Interface (DMI). Прототип PSpice C/C++/SystemC модели БИС можно сформировать, используя инструмент DMI Template code generator утилиты PSpice Model Editor [7]. Автоматически формируются:

- схемный символ для размещения на схеме устройства;
- макромодель на входном языке PSpice A/D;
- набор файлов проекта MS Visual Studio для формирования исполняемого модуля C/C++/SystemC модели.

DMI Template code generator формирует шаблон SystemC модели для конвейерного фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтра) [7–9]. Для примитива LOGICEXP формируется временная модель типа ugate. Файл проекта PSpiceDigApiDefs.h содержит объявления класса PSpiceConstraint и методов для формирования ограничений времени пред-установки и удержания mSetupHold, ширины импульсов mWidth, тактовой частоты mFreq [10]. Таким образом, пользователю доступны два способа задания временных ограничений:

- на уровне PSpice макромодели, используя примитив CONSTRAINT;
- на уровне C/C++/SystemC модели, используя методы PSpiceConstraint. Проверка применения этих способов была выполнена на примере построения SystemC модели БИС "Процессор Пифагора" PDSP16330 [11]. БИС PDSP16330 реализована в виде конвейера данных и предназначена для преобразования данных из декартовой в полярную систему координат. Входные и выходные сигналы PDSP16330, их идентификаторы в PSpice макромодели и SystemC модели приведены в табл. 1. Все входы, кроме входов разрешения nOEM и nOEP для трехстабильных выходов M и P, синхронные. Данные входных каналов X и Y могут быть представлены в прямом (при FORM = 1) или дополнительном (при FORM = 0) коде. Комбинации значений S1S0 от 00 до 11 задают масштабный коэффициент от 1 до 8 для модуля M. Значения параметров и временные ограничения для PDSP16330A приведены в табл. 2.

В файле SysCPithPU.h объявлен класс SC_MODULE SysCPithPU с портами внешнего интерфейса, конструктором SC_CTOR(SysCPithPU) модуля, выполняющего синхронизируемый фронтом CLK поток SC_CTHREAD(entry, CLK.pos()). Метод entry SystemC модели сохранен в файле SysCPithPU.cpp (текст был отредактирован). При моделировании в каждом такте CLK выполняется чтение входных сигналов nCEX, nCEY, FORM, S и сохранение их значений в локальных переменных ENX, ENY, FORMFF, SFF. При ENX=0 и ENX=0 данные X и Y сохраняются во входных ячейках линий задержки tapsX и tapsY для учета задержки латентности. Все операции обработки выполняются в одном такте CLK для значений из последних ячеек линий задержки.

Таблица 1

Входные и выходные сигналы PDSP16330

Сигналы	Имя в макромодели	SystemC тип и идентификатор
Тактовые импульсы	CLK	sc_in<bool> CLK
Данные X	X_0 .. X_15	sc_in<sc_int<16>> X
Данные Y	Y_0 .. Y_15	sc_in<sc_int<16>> Y
Разрешение тактирования X	nCEX	sc_in<sc_int<1>> nCEX
Разрешение тактирования Y	nCEY	sc_in<sc_int<1>> nCEY
Формат данных X и Y	FORM	sc_in<sc_int<1>> FORM
Управление масштабированием M	S_0 .. S_1	sc_in<sc_int<2>> S
Разрешение выхода M	nOEM	sc_in<sc_int<1>> nOEM
Разрешение выхода P	nOEP	sc_in<sc_int<1>> nOEP
Данные модуля M	M_0 .. M_15	sc_out<sc_int<16>> M
Данные фазы P	P_0 .. P_11	sc_out<sc_int<12>> P
Флаг переполнения M	OVR	sc_out<sc_int<1>> OVR

Таблица 2

Значения параметров и временные ограничения

Параметр	Минимальное значение	Максимальное значение
Время предустановки X, Y, S, нс	12	
Время удержания X, Y, S, нс	2	
Время задержки от фронта CLK до уста-	5	25

новления данных, нс		
Период CLK, нс	50	
Длительность импульса CLK, нс	15	
Длительность паузы CLK, нс	15	
Задержка латентности, тактов	24	24

Шаблоны пользовательских функций приведены в файле `pspSysCPithPU_user.cpp`. Функция `pspSysCPithPU::initialize()` вызывается однократно при запуске Transient анализа и выполняет инициализацию портов и переменных модели. Функция `pspSysCPithPU::evaluate(double pTicks, PSpiceState* pVectorStates, int pSize)` вызывается PSpice A/D в каждом такте моделирования цифровой части схемы и выполняет операции:

- получает текущее время `pTicks`;
- получает PSpice пятизначные уровни входных сигналов из `pVectorStates`;
- детектирует фронт синхросигнала CLK;
- преобразует PSpice уровни в значения сигналов SystemC модели;
- вызывает SystemC поток;
- преобразует SystemC данные в PSpice уровни выходных сигналов;
- обновляет состояния выходов в `pVectorStates`.

Для формирования dll модуля модели использовались библиотека `SystemC-2.3.3` и `MS Visual Studio Community 2019`. Попытки формировать временные ограничения в C++ коде модели были неудачными. В ходе Transient анализа возникали ошибки выполнения операций с плавающей точкой. При использовании примитива `CONSTRAINT`, таких проблем не возникало. Параметры задержки сигналов задавались в модели `ugate` PSpice макромодели. На рис. 1 приведены временные диаграммы входных сигналов в одном из модельных экспериментов. Выполнялась проверка адекватности функциональной модели, были определены задержка латентности и задержки распространения. На рис. 2 приведена реакция на выходах при типовых значениях задержки распространения и предельно допустимой тактовой частоте 20 МГц.

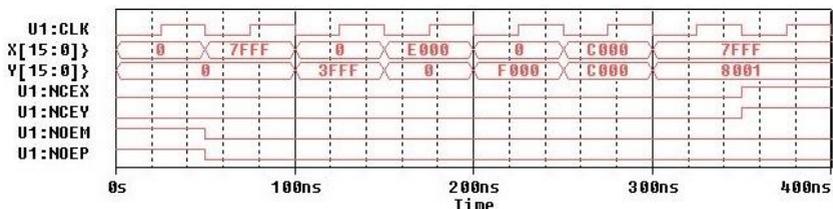


Рис. 1. Временные диаграммы входных сигналов

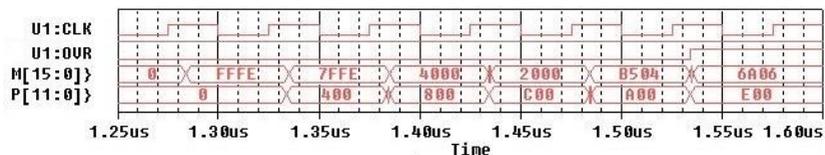


Рис.2. Временные диаграммы выходных сигналов

Выводы

В упрощенных PSpice SystemC моделях БИС конвейерного типа все операции обработки можно выполнять без распределения по ступеням конвейера. Задержку латентности с точностью до такта можно реализовать с помощью линий задержки. При равенстве задержек сигналов для всех путей распространения они могут быть учтены во временной модели примитива LOGICEXP типа ugate. Иначе следует использовать примитив матрицы задержек PINDLY. Учет разброса задержек распространения позволяет выполнять анализ рисков сбоя для наихудшего случая. Попытки использовать встроенные в SystemC модель средства формирования временных ограничений не дали удовлетворительного результата. При использовании примитива CONSTRAINT симулятор PSpice A/D формировал предупредительные сообщения при нарушениях заданных по таблице 2 условий предустановки, удержания, для ширины тактовых импульсов, а также при превышении максимальной тактовой частоты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 70607–2022. Системы автоматизированного проектирования электроники. Состав и структура системы автоматизированного проектирования печатных узлов. – Введ. 2023–02–01. – М.: Рос. ин-т стандартизации, 2023. – 8 с.
2. ГОСТ Р 70884–2023. Системы автоматизированного проектирования электроники. Информационное обеспечение. Модели SPICE. Общие положения. – Введ. 2022–10–01. – М.: Рос. ин-т стандартизации, 2022. – 11 с.

3. Panda P. R. SystemC – a modeling platform supporting multiple design abstractions // *International Symposium on System Synthesis (IEEE Cat. No. 01EX526)*. – IEEE, 2001. – P. 75–80. – doi: 10.1145/500001.500018.

4. Алехин В.А. Проектирование электронных систем с использованием SystemC и SystemC–AMS // *Российский технологический журнал*, 2020. – Т. 8, № 4. – С. 79–95.

5. Алехин В.А. SystemC. Моделирование электронных систем: учебное пособие для вузов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2018. – 320 с.

6. PSpice User Guide. Product Version 17.2–2016. – Cadence, April 2016. – 900 p.

7. PSpice Device and System Modeling with C/C++ and SystemC. Product Version 17.2–2016. – Cadence, April 2016. – 34 p.

8. Virtual Prototyping in PSpice: Application Note, V1. – FlowCAD. – 72 p. – URL: https://www.flowcad.de/AN/FlowCAD-AN_Device-Modeling-Interface.pdf (дата обращения 20.05.2024).

9. Хлуднев А.В. Моделирование цифровых устройств на системном уровне // *Актуальные проблемы и перспективы в сфере инженерной подготовки*. – Оренбург: Изд-во ОФ ПГУТИ, 2022 – С. 127–132.

10. PSpice Device Modeling Interface API Reference. Product Version 17.2–2016. – Cadence, April 2016. – 93 p.

11. PDSP16330/A/B Pythagoras Processor: datasheet DS3884. – Issue 2.1. – Zarlink Semiconductor, November 1998. – 6 p. – URL: https://datasheetpdf.com/download_new.php?id=576650 (дата обращения 20.05.2024).

Хлуднев Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной электроники и информационно-измерительной техники Оренбургского государственного университета, Россия, город Оренбург, проспект Победы 13, 460018, телефон: +7 (3532) 37-28-74, email: avhludnev@yandex.ru.

Khudnev Alexander Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, Industrial Electronics and Information Measuring Engineering Department, Orenburg State University, 460018, Russia, Orenburg, 13 Victory Avenue, phone: +7 (3532) 37-28-74, email: avhludnev@yandex.ru.

Денисов Александр Анатольевич

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОПИСАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК ИЗОБРАЖЕНИЯ

В статье проведено сравнение известных алгоритмов обнаружения и описания ключевых точек изображения. Целью работы является выявление сильных и слабых сторон каждого из алгоритмов. В экспериментах сравнивались следующие алгоритмы детектирования и описания ключевых точек: SIFT, SURF, FAST/FREAK, BRISK, KAZE и ORB. Сравнение детекторов ключевых точек проводилось по критериям быстродействия и количества найденных ключевых точек. Deskрипторы сравнивались по показателю точности при сопоставлении двух изображений и затраченного времени на описании ключевых точек.

Ключевая точка, дескриптор, детектор, SIFT, SURF, FAST, FREAK, BRISK, KAZE, ORB.

Denisov Aleksandr Anatolyevich

COMPARATIVE ANALYSIS OF IMAGE KEYPOINT DETECTION AND DESCRIPTION ALGORITHMS EFFICIENCY

The paper compares known algorithms for detecting and describing image keypoints. The goal of the study is to identify the advantages and disadvantages of each algorithm. The following algorithms for detecting and describing keypoints were compared in the experiments: SIFT, SURF, FAST/FREAK, BRISK, KAZE and ORB. The comparison of keypoint detectors was carried out according to the criteria of performance and the number of keypoints found. The descriptors were compared in terms of accuracy in matching two images and computational time of describing keypoints.

Keypoint, descriptor, detector, SIFT, SURF, FAST, FREAK, BRISK, KAZE, ORB.

Введение

Сопоставление изображений лежит в основе многих задач компьютерного зрения, включая восстановление 3D-структур, одновременную локализацию и картографирование (SLAM) и обнаружение изменений [1], совмещение изображений [2,3], робототехнику, системы автоматического пилотирования и системы

безопасности, системы распознавания лиц и т. д. Задачу сопоставления изображений можно решить с помощью, так называемых ключевых точек.

Ключевые точки или точки интереса — это такие точки (пиксели), по которым можно классифицировать изображение, распознать его, некая особенность изображения, уникальность [4]. Ключевая точка (пиксель) обладает характерной окрестностью, то есть отличной от окрестности всех соседних точек. Уникальность ключевой точки характеризуется вектором признаков, рассчитываемых на основе направлений и модулей векторов градиентов или других характеристик окрестностей точек. С помощью ключевых точек можно проанализировать как изображение в целом, так и объекты в них [5]. После обнаружения и описания ключевых точек эти данные могут быть использованы для сопоставления с ключевыми точками других изображений. Особенно эффективен данный подход в случаях ограничения вычислительных возможностей и необходимости производить поиск объектов в реальном времени.

Детекторы и дескрипторы ключевых точек

Существует множество алгоритмов обнаружения и описания ключевых точек, использующих различные методы вычисления и записи ключевых точек. Они отличаются по корректности детектирования ключевых точек, по затратам времени на вычисления и обработку изображений, подверженных различным искажениям, таким как поворот, масштабирование, изменение угла съемки, размытие, изменение освещения и наличие шумов. С учетом этих особенностей, целесообразным представляется сравнительный анализ наиболее известных и широко применяемых алгоритмов для выявления их сильных и слабых сторон.

Экспериментальная часть

Сравнение исследуемых алгоритмов проводилось на основе данных, полученных экспериментальным путем с использованием платформы программирования и числовых вычислений MATLAB (версия 23.2.0.2485118 (R2023b) Update 6) и расширения Computer Vision Toolbox. Вычисления проводились на компьютере Apple MacBook Pro с процессором Apple M1 Max и 32ГБ общей оперативной и видеопамяти. Операционная система – macOS Sonoma версии 14.4.1 (23E224).

В исследовании использовался открытый набор данных Oxford [6], в состав которого входит 8 групп изображений, каждая из которых подвержены одному из типов преобразований, среди которых: поворот,

масштабирование, изменение угла съемки, размытие, изменение освещения и сжатие. Каждая группа содержит по 6 изображений с разной степенью искажений. В табл. 1 приведены соответствия названий групп и типов преобразований, которым подвержены изображения в них.

Таблица 1

Группы набора дынных Oxford

Название группы	Тип преобразования
graff	изменение угла съемки
wall	изменение угла съемки
boat	масштабирование и вращение
bark	масштабирование и вращение
bikes	размытие
trees	размытие
ubc	сжатие (наличие шумов)
leuven	изменение освещения

В данной работе рассматриваются следующие детекторы и дескрипторы ключевых точек: SIFT, SURF, FAST/FREAK, BRISK, KAZE и ORB [7-12]. Все сравниваемые алгоритмы входят в состав расширения Computer Vision Toolbox в виде отдельных функций, и их вызов происходил с настройками по умолчанию.

Таблица 2

Среднее количество обнаруженных ключевых точек

Название группы	SIFT	SURF	FAST	BRISK	KAZE	ORB
graff	3247	1775	1123	3249	8084	13868
wall	8961	2308	3051	4742	13682	47618
boat	5360	1907	2768	5389	8593	27397
bark	5708	1817	1322	2580	8660	26150
bikes	1197	610	150	545	4962	4543
trees	7922	3355	4563	7873	14486	44549
ubc	4848	1610	2220	3937	8460	25946
leuven	1605	639	756	1335	4486	7276

Поскольку скорость обработки изображений не зависит от типа изображения, то результаты по этому показателю можно сравнивать по среднему значению без разбивки на группы (рис. 1).

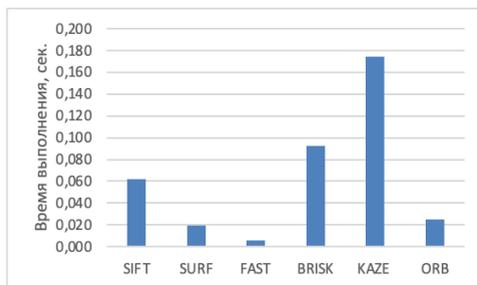


Рис. 1. Среднее время работы алгоритмов обнаружения ключевых точек для обработки одного изображения

Оценка результатов работы алгоритмов обнаружения ключевых точек проводилась по показателю количества найденных точек и времени обработки одного изображения. В табл. 2 представлены усредненные результаты по количеству обнаруженных ключевых точек с разбивкой по группам изображений.

Из табл. 2 видно, что алгоритмы SURF и FAST в среднем обнаружили меньше ключевых точек, чем остальные алгоритмы. При этом алгоритмы SIFT и BRISK выделили примерно в два раза больше ключевых точек. Заметно большее количество (в среднем в 3–10 раз) ключевых точек обнаружено алгоритмом ORB.

При этом время работы алгоритмов значительно отличается, и здесь можно объективно выделить лидера. Метод FAST показал наилучшие результаты, в среднем потратив на обработку одного изображения 6 миллисекунд. Хорошие результаты также продемонстрировали алгоритмы SURF и ORB со средним временем 20 и 25 миллисекунд соответственно. Остальные алгоритмы затратили значительно больше времени на вычисления, и наихудшее время показал KAZE – 174 миллисекунды.

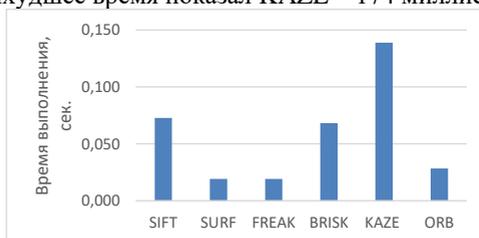


Рис. 2. Среднее время работы алгоритмов описания ключевых точек для обработки одного изображения

Для оценки эффективности дескрипторов также использовалось время работы алгоритма (рис. 2) и показатель корректности сопоставления «Inlier Ratio» (Рис. 3).

Из рис. 2 следует, что распределение времени работы алгоритмов-дескрипторов аналогично распределению времени работы детекторов. KAZE снова выполняется дольше остальных алгоритмов, а FREAK (дескриптор для точек, обнаруженных методом FAST), SURF и ORB демонстрируют максимальную скорость выполнения.

С точки зрения времени сопоставления лучшие результаты показали SURF, FREAK и BRISK. Их время сопоставления заняло 12, 13 и 24 миллисекунды соответственно.

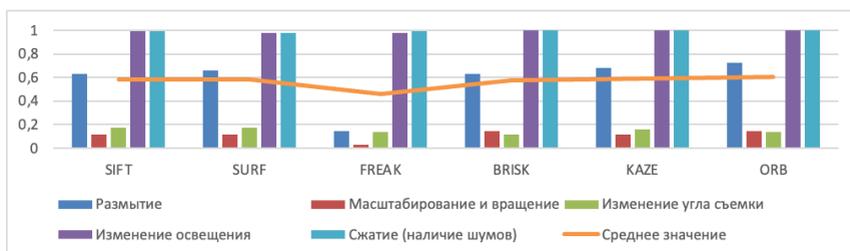


Рис. 3. Средние значения параметра Inlier Ratio, сгруппированные по типам преобразований изображений

Для определения качества обнаруженных и описанных ключевых точек использовался параметр Inlier Ratio, алгоритм определения которого заключается в следующих шагах:

1. Вычисление фундаментальной матрицы с использованием сопоставленных точек.
2. Вычисление эпполярных линий для каждого из двух изображений.
3. Поиск ближайших точек на эпполярных линиях к точкам изображения.
4. Оценка расстояния между рассчитанными ближайшими точками и изначальными парами точек на изображениях.
5. Определение порогового расстояния, меньше которого можно считать сопоставление точек верным.

6. Подсчет количества «inliers» - пар точек, расстояние между которыми меньше порога.

7. Вычисление соотношения количества «inliers» к общему числу пар точек.

Чем ближе значение Inlier Ratio к единице, тем более точным является сопоставление.

Из рис. 3 видно, что все алгоритмы корректно справились с задачами обработки изображений, подверженных сжатию и изменению угла освещения. Также наблюдается высокое значение корректности обработки изображений с размытием. При этом стоит заметить, что все алгоритмы, кроме FREAK справились с размытыми изображениями на высоком уровне, испытывая сложности только с максимальным уровнем размытия. Тогда как FREAK смог корректно сопоставить только изображения с минимальным размытием.

Аналогичное отставание алгоритма FREAK наблюдается и при работе с изображениями, подверженными масштабированию и вращению. Остальные алгоритмы продемонстрировали результат на стабильно равном уровне.

Заключение

Рассмотрены алгоритмы обнаружения и описания ключевых точек, являющиеся стандартом в области компьютерного зрения при решении задач сопоставления изображений. Проанализированы и обобщены преимущества и недостатки рассмотренных методов обнаружения и описания ключевых точек, что позволяет учитывать их при выборе метода для реальных приложений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Nancy Xu, Giannis Nikolentzos, Michalis Vazirgiannis, and Henrik Boström*, “Image Keypoint Matching using Graph Neural Networks”, *Complex Networks & Their Applications X* (pp.441-451). DOI:10.1007/978-3-030-93413-2_37.

2. *Anatoly I. Novikov, Victoria A. Sablina, Aleksey I. Efimov, Michael B. Nikiforov*. Contour Analysis in the tasks of real and virtual images superimposition// *Journal Coupled Systems and Multiscale Dynamics*, vol 4(4), 2016. – Pp. 251-259. (Doi: 10.1166/jcsmd. 2016.1112 J. Coupled Syst. Multiscale Dyn. vol 4(4)/2330-152X/2016/251/009).

3. *Новиков А.И., Пронькин А.В.* Методы цифровой обработки изображений подстилающей поверхности. – М.: Горячая линия- Телеком, 2023. – 224 с.

4. *Ивашечкин А. П., Василенко А. Ю., Гончаров Б. Д.*, “Методы нахождения особых точек изображения и их дескрипторов”, *Международный научный журнал “Молодой учёный” № 15 (119) / 2016.*

5. *Mikhaylov A.V., Kovalenko P.O., Kataev A.V., Rozaliev V.L.*, “Methods for Searching Key Points in Images”, IV International research conference "Information technologies in Science, Management, Social sphere and Medicine". DOI:10.2991/itsmssm-17.2017.47.

6. Oxford Image Matching Dataset. – URL: https://cvssp.org/featurespace/web/related_papers/graffiti.html (дата обращения: 22.04.2024).

7. *A. Alahi, O. Raphael, and V. Pierre*, “FREAK: fast Retina keypoint,” in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 510–517, IEEE, Providence, RI, USA, June 2012. DOI:10.1155/2021/8509164.

8. *Lowe D.G.* Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision* 60, 91–110 (2004). <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>.

9. *H. Bay, T. Tinne, and V. G. Luc*, “SURF: speeded up robust features,” *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 110, no. 3, pp. 346–359, 2008. DOI:10.1007/11744023_32.

10. *P. F. Alcantarilla, A. Bartoli and A. J. Davison*, KAZE Features,” *ECCV 2012*, Springer, vol. 7577, London, UK, 2012. DOI:10.1007/978-3-642-33783-3_16.

11. *Leutenegger S., Chli M., and Siegwart R. Y.* “BRISK: binary robust invariant scalable keypoints,” in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 2548–2555, IEEE, Barcelona, Spain, November 2011. DOI:10.1109/ICCV.2011.6126542.

12. *E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, and G. Bradski*, “ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF,” in Proceedings of the 2011 International Conference on Computer Vision, pp. 2564–2571, IEEE, Barcelona, Spain, November 2011. DOI:10.1109/ICCV.2011.6126544.

Денисов Александр Анатольевич, аспирант, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Россия, город Рязань, улица Гагарина, 59, 390005, email: denal777@gmail.com.

Denisov Aleksandr Anatolyevich, PhD student, Ryazan State Radio Engineering University named after Utkin V.F., Ryazan, 59 Gagarina Street, 390005, Russia, email: denal777@gmail.com.

УДК 004.021

Егорчев Антон Александрович, Чикрин Дмитрий Евгеньевич,
Пашин Дмитрий Михайлович, Фахрутдинов Адель Фердинандович

АЛГОРИТМ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ТРЕМОРА ГОЛОВЫ ПО ДАНЫМ ВИДЕОКАМЕРЫ СМАРТФОНА СИСТЕМЫ БИОМЕДИЦИНСКОГО МОНИТОРИНГА

Самостоятельная предварительная диагностика позволяет выявлять различные симптомы, которые могут являться поводом посещения медицинских специалистов, это позволяет выиграть время – очень ценный ресурс, когда речь идет о жизни человека. Целью работы является разработка алгоритма детектирования тремора головы для применения в смартфонной технике. В статье представлено решение для определения наличия тремора головы человека по видеоданным фронтальной камеры смартфона предназначенное для применения в системе биомедицинского мониторинга. Представленное решение основано на применении открытой модели машинного обучения ML Kit, предназначенное для распознавания лица человека и на разработанном алгоритме обработки результатов распознавания лица человека. Результаты испытаний показали точность решения равное 0,92 по метрике ассигасу. Представленное решение предлагает новый способ определения наличия тремора головы и показывает применимость стандартной модели ML Kit определения контуров лица человека для решения подобного рода задач на смартфонах.

Неинвазивный мониторинг, тремор головы, цифровая обработка сигналов, неврологические расстройства, контуры лица.

Egorchev Anton Alexandrovich, Chikrin Dmitry Evgen'evich,
Pashin Dmitry Mikhailovich, Fakhrutdinov Adel Ferdinandovich

ALGORITHM FOR DETECTION OF HEAD TREMOR ACCORDING TO DATA OF A SMARTPHONE VIDEO CAMERA OF A BIOMEDICAL MONITORING SYSTEM

Self-diagnosis allows you to identify various symptoms that may be a reason to visit medical specialists, this allows you to gain time - a very valuable resource when it comes to a person's life. The goal of the work is to develop an algorithm for detecting head tremor for use in smartphone technology. The article presents a solution for determining digital tremor of the human head using video data from the front camera of a smartphone, intended for use in the biomedical Diptych system. This solution is

based on the use of an open machine learning model ML Kit, designed to determine a person's face, and on a developed algorithm for processing the results of determining a person's face. The results of measuring the accuracy of the solution are 0.92 in metric accuracy. The present solution offers a new way to detect financial head tremor and demonstrates the applicability of the ML Kit model for identifying human facial contours for similar tasks on smartphones.

Non-invasive monitoring, head tremor, digital signal processing, neurological disorders, facial contours.

Введение

Тремором головы являются неконтролируемые ритмичные движения головы человека, которые обусловлены сокращениями мышц шеи. Выглядит тремор головы как качание или кивание головой, которое возникает как в состоянии покоя, так и при движениях или поддержании поз. При этом амплитуда колебательных движений при наличии тремора головы может быть небольшой. Наличие тремора головы у человека, может свидетельствовать о вероятном наличии неврологических заболеваний, таких как болезнь Паркинсона, рассеянный склероз, энцефалопатия, цервикальная дистония и т.п., поэтому важно выявить данный недуг и начать профилактику и/или лечение. Бурное развитие смартфонной техники, которые сегодня повсеместно распространены, позволяет использовать смартфоны как инструмент предварительной диагностики показателей здоровья человека [18, 14, 13, 3], поэтому у смартфонов есть потенциал для проведения предварительной диагностики симптомов наличия неврологических расстройств у пациента, в частности, наличия тремора головы. Следовательно, необходимость проведения самостоятельной диагностики наличия тремора головы в системе биомониторинга, является актуальной задачей и в рамках данной работы предлагается решение для диагностики наличия тремора головы.

Основная часть

Тремор головы зачастую имеет частоту колебаний в диапазоне от 3-18 Гц [15]. Современные смартфоны позволяют фронтальной камерой записывать видео с частотой кадров в 30 кадров в секунду и более. Следовательно, в предлагаемом решении принято ограничиться частотой кадров равным 30 кадров в секунду, для большего охвата устройств. Видеоданные, записываемые камерами мобильных телефонов, имеют в своем составе набор кадров, который является дискретным представлением визуаль-

ной части данных видео. В соответствии с теоремой Котельникова-Найквиста для 30 Гц частоты дискретизации, верхняя частота сигнала, который можно извлечь из кадров видеоданных, составляет 15 Гц. Следовательно, представленный в данной работе алгоритм рассматривает диапазон тремора головы от 3-15 Гц. Использование видеоданных для определения тремора головы в рамках рассматриваемого решения накладывает следующие требования для успешности измерений:

- Максимальная неподвижность, как в положении позы, так и в мимике лица, человека, который измеряет показания.
- Лицо человека измеряющего показания должно быть полностью открыто (волосы не должны закрывать лицо, если пациент носит очки, то их необходимо снять).
- Жесткая фиксация смартфона во время записи видеоданных (например, на подставке).
- На смартфоне в момент записи видео необходимо, чтобы не работала стабилизация камеры, так как она может внести искажения при измеряемых данных.
- Так как в последнее время все чаще в новых моделях смартфонов начали появляться модули машинного обучения, которые выполняют изменения данных изображения, получаемых с камер, то видеоданные не должны подвергаться обработке алгоритмами машинного обучения, так как их влияние на изображение пока не изучено.
- Измерения должны проводиться при хорошей освещенности, чтобы лицо человека обладало четкой видимостью при съемках с фронтальной камеры.

Для определения тремора головы разработана система, которая представляет собой программный модуль, который применяется в мобильном приложении, который предназначен для проведения измерений биомедицинских показателей. Приложение с разработанной системой разработано с использованием языка программирования Kotlin [16]. Приложение разработано по принципам объектно-ориентированного программирования используя такой шаблон проектирования как MVP (Model-View-Presenter (Модель-Отображение-Представление)), а также используя методы реактивного программирования благодаря библиотеке RxKotlin [20].

Из записи 10 секундной длины, выполняется процедура извлечения контуров лица с помощью библиотеки MLKit [8]. Данный набор инструментов позволяет определять контуры лица человека. Для определения

тремора головы выбрано решение использовать контур овала лица человека, представленного в виде массива из 36 точек, координаты которых представлены в вещественном виде. Координаты точек, соответствуют разрешению изображения фронтальной камеры. В результате обработки кадров видеофайла формируется массив контуров овала лица, который подается на вход блока анализа контуров. Для каждой точки контура лица из элементов списка, хранящего все распознанные контуры в цикле, выполняется процедура расчета расстояния между точками по формуле (1):

$$r = \sqrt{(pt_{xj-1} - pt_{xj})^2 + (pt_{yj-1} - pt_{yj})^2} \quad (1),$$

где:

pt – точка контура лица,

j – индекс элемента списка, хранящего все распознанные контуры лица,

x – ось X изображения,

y – ось Y изображения.

Для полученных расстояний выполняется процедура расчета 2 квантиля (медианы) выборки.

Для каждой точки контура выполняется процедура расчета отклонения расстояний от значений медианы. Для полученных данных для каждой точки выполняется процедура получения представления сигнала в частотной области путем применения быстрого преобразования Фурье (БПФ) в области действительных значений. Далее выполняется процедура нормировки значений амплитудно-частотной характеристики спектра для каждой точки относительно максимума. В конечном счете, выполняется процедура подсчета количества точек контура овала лица, в спектре которых амплитуда в диапазоне тремора (а именно 3-15 Гц) превышает значение 0,8. Пороговое значение получено эмпирическим путем. Таким образом формируется оценка в виде количества баллов. На основе полученных баллов формируется вывод о наличии тремора головы. Принцип работы основан простым сравнении с пороговым значением - если количество точек, который удовлетворяет условиям тремора не менее 25, то фиксируется тремор головы, в противном случае его отсутствие.

Для определения качества разработанного решения проведены ряд испытаний. В качестве испытуемых приглашено 20 человек, которые являются студентами и сотрудниками Казанского Федерального Университета. Результаты испытаний показаны в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты испытаний по метрикам Accuracy, Precision, Recall, F1 Score

Показатель	Метрика accuracy	Метрика precision	Метрика recall	Метрика F1 Score
Нет тремора	0,92	0,95	0,90	0,93
Есть тремор	0,92	0,90	0,95	0,92

Таблица 2

Результаты испытаний по метрике – ошибки 1 и 2 рода

Показатель	α (ошибки 1 рода)	β (ошибки 2 рода)
Нет тремора	0,053	0,095
Есть тремор	0,095	0,053

Выводы

Рассмотрев тему детектирования тремора головы, разработан алгоритм определения тремора головы, которая решает данную задачу. Испытания показали ошибки 1 рода 0,095 и ошибки 2 рода 0,053 при детектировании тремора головы. Результаты позволяют сделать вывод, что ML Kit пригоден для решения задачи определения тремора головы с помощью машинного зрения в рамках системы биомедицинского мониторинга. При этом решение потенциально применимо для устройств на базе iOS по причине того, что ML Kit доступен на платформе iOS. Решение имеет потенциал для усовершенствования, путем рассмотрения других контуров лица для анализа данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Assessment of Head Tremor with Accelerometers Versus Gyroscopic Transducers. — Текст : электронный // NationalLibraryOfMedicine : [сайт]. — URL:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6174406/> (дата обращения: 22.04.2023)

2. *Ahak N.* Разработка мультиагентной системы нейросетевой диагностики и удаленного мониторинга пациента // ВЕЖПТ. 2016. №9 (82). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-multiagentnoy-sistemy-neyrosetevoj-diaagnostiki-i-udalennogo-monitoringa-patsienta> (дата обращения: 22.04.2023)

3. *Chandrasekaran V., Dantu R., Jonnada S., Thiagaraja S., Subbu K.* Cuffless Differential Blood Pressure Estimation Using Smart Phones // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. - 2013. - №60. - С. 1080-1089.

4. Face Detection. — Текст : электронный // ML Kit : [сайт]. — URL: <https://developers.google.com/ml-kit/vision/face-detection> (дата обращения: 05.10.2023)

5. Face-Yaw-Roll-Pitch-from-Pose-Estimation-using-OpenCV. — Текст : электронный // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/jerryhouuu/Face-Yaw-Roll-Pitch-from-Pose-Estimation-using-OpenCV> (дата обращения: 20.10.2022).

6. Head tremor in cervical dystonia: Quantifying severity with computer vision. — Текст: электронный // Sciencedirect: [сайт]. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022510X22000132> (дата обращения: 02.10.2022).

7. JCodec. — Текст : электронный // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/jcodec/jcodec> (дата обращения: 09.09.2022).

8. ML Kit. — Текст: электронный // Google Developers: [сайт]. — URL: <https://developers.google.com/ml-kit> (дата обращения: 05.10.2022).

9. OpenFace. — Текст : электронный // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/TadasBaltrusaitis/OpenFace> (дата обращения: 22.04.2023).

10. Tremor rating scales and laboratory tools for assessing tremor. — Текст : электронный // ScienceDirect : [сайт]. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022510X22000648> (дата обращения: 01.04.2023).

11. Using Portable Transducers to Measure Tremor Severity. — Текст : электронный // GoogleScholar : [сайт]. — URL: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Using%20Portable%20Transducers%20to%20Measure%20Tremor%20Severity&publication_year=2016&author=R.J.%20Elble&author=J.%20McNames (дата обращения: 01.04.2023).

12. Vision-based estimation of MDS-UPDRS scores for quantifying Parkinson's disease tremor severity. — Текст : электронный // ScienceDirect : [сайт]. — URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361841523000154> (дата обращения: 01.04.2023).

13. *Богомолов А.И., Невезжин В.П.* Мобильная персональная медицинская система для выявления предвестников кризиса сердечно-сосудистой системы // Хроноэкономика. 2018. №4 (12). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mobilnaya-personalnaya-meditsinskaya-sistema-dlya-vyyavleniya-predvestnikov-krizisa-serdechno-sosudistoy-sistemy> (дата обращения: 22.04.2023).

14. *Гайдина Т. А., Дворникова Е. Г.* ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СМАРТФОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННОСТИ МЕЛАНОЦИТАРНЫХ НЕВУСОВ // Вестник РГМУ. 2020. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-ispolzovaniya-opticheskoy-sistemy-smartfona-dlya-otsenki-zlokachestvennosti-melanotsitarnyh-nevusov> (дата обращения: 22.04.2023).

15. *Говорова Т. Г., Тапшахов А. А., Попова Т. Е., Антипина У. Д.* Тремор: классификация, клиническая характеристика // Consilium Medicum. 2018. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tremor-klassifikatsiya-klinicheskaya-harakteristika> (дата обращения: 01.04.2023).

16. *Гриффитс Д.* Head First. Kotlin / Д. Гриффитс, Д. Гриффитс. — 1. — СПб : Питер, 2020. — 464 с. - Текст : непосредственный.

17. *Зиатдинов С. И.* Восстановление сигнала по его выборкам на основе теоремы отсчетов Котельникова // Приборостроение. 2010. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vosstanovlenie-signala-po-ego-vyborkam-na-osnove-teoremy-otschetov-kotelnikova> (дата обращения: 23.04.2023).

18. *Федорович А. А., Горшков А. Ю., Королев А. И., Драпкина О. М.* Смартфон в медицине - от справочника к диагностической системе. Обзор современного состояния вопроса // КВТиП. 2022. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/smartfon-v-meditsine-ot-spravochnika-k-diagnosticheskoy-sisteme-obzor-sovremennogo-sostoyaniya-voprosa> (дата обращения: 17.04.2023).

19. *Фролов С. В., Горбунов А. В., Потлов А. Ю.* Регистрация и анализ тремора с помощью детектора движения на основе веб-камеры // Биомедицина. 2012. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/registratsiya-i-analiz-tremora-s-pomoschyu-detektora-dvizheniya-na-osnove-veb-kamery> (дата обращения: 05.10.2022).

20. *Чакраборти, Д.* Reactive Programming in Kotlin / Д. Чакраборти. — 1. — Бирмингем : Packt Publishing, 2017. — 299 с. - Текст : непосредственный.

Егорчев Антон Александрович, кандидат технических наук, директор института вычислительной математики и информационных технологий, КФУ, Казань, ул. Кремлевская, 35. Email: anton@egorchev.ru.

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, доктор технических наук, директор института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии, КФУ, Казань, ул. Сайлиха Сайдашева д.12 к.3, Email: dmitry.kfu@ya.ru.

Пашин Дмитрий Михайлович, доктор технических наук, проректор по цифровой трансформации и инновационной деятельности, КФУ, Казань, ул. Кремлевская д.18. Email: dmitry.m.pashin@gmail.com.

Фахрутдинов Адель Фердинандович, без степени, аспирант института физики, КФУ, Казань, ул. Кремлевская д.16а Email: timvaz@yandex.ru. Тел: +79872394153

Egorchev Anton Alexandrovich, Ph.D of technical sciences, Director of Institute Computational Mathematics and IT, KFU, Kazan, Kremlevskaya st. 35. Email: anton@egorchev.ru

Chikrin Dmitry Evgen'evich, Doctor of technical sciences, Director of Institute of Artificial Intelligence, Robotics and System Engineering, KFU, Kazan, Salikha Saidasheva st. 12, 3 enc. Email: dmitry.m.pashin@gmail.com.

Pashin Dmitry Mikhailovich, Doctor of technical sciences, Vice-Rector for Digital Transformation and Innovation, KFU, Kazan, Kremlevskaya st. 18. Email: dmitry.kfu@ya.ru.

Fakhrutdinov Adel Ferdinandovich, no degree, graduate student, Institute of Physics, KFU, Kazan, Kremlevskaya st. 16a. Email: timvaz@yandex.ru. Tel: +79872394153

УДК [004.032]

Гушанский Сергей Михайлович, Мушаев Алтман Яшкулович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВОГО УСКОРИТЕЛЯ НА СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СХЕМАХ

В статье рассматривается интеграция квантовых вычислений в качестве ускорителя в системах высокопроизводительных вычислений (НРС). Приложения квантовых вычислений, особенно в областях, требующих интенсивных вы-

числений, таких как моделирование, оптимизация и дифференциальные уравнения квантовых систем, естественным образом совпадают с исследованиями HPC. В статье подчеркивается необходимость координации гибридных вычислений на классических и квантовых узлах, особенно с учетом того, что в будущих системах ожидается наличие нескольких квантовых ускорителей с различными характеристиками. В статье обсуждается необходимость адаптации подходов к решению проблем для эффективного использования квантовых ресурсов сообществу высокопроизводительных вычислений. В нем также делается упор на разработку квантовых ускорителей с упором на сверхпроводящие схемы, которые требуют передовых систем управления для точного манипулирования кубитами. Интеграция квантовых ускорителей в среды высокопроизводительных вычислений может произвести революцию в вычислительных методологиях, что потребует стратегического управления ресурсами и постоянных инноваций в системах квантового управления и разработке гибридных алгоритмов.

Квантовый ускоритель; квантовый алгоритм; кубит; модель квантового вычислителя; квантовое запутывание; суперпозиция; квантовый параллелизм.

Gushanskiy Sergey Mikhailovich, Mushaev Altman Yashkulovich

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A QUANTUM ACCELERATOR BASED ON SUPERCONDUCTING CIRCUITS

The article discusses the integration of quantum computing as an accelerator in high performance computing (HPC) systems. Quantum computing applications, especially in computationally intensive fields such as simulation, optimization, and differential equations of quantum systems, naturally overlap with HPC research. The paper highlights the need to coordinate hybrid computing on classical and quantum nodes, especially since future systems are expected to have multiple quantum accelerators with different characteristics. The paper discusses the need for the high-performance computing community to adapt problem-solving approaches to efficiently utilize quantum resources. It also focuses on the development of quantum accelerators, with an emphasis on superconducting circuits that require advanced control systems to precisely manipulate qubits. The integration of quantum accelerators into high-performance computing environments has the potential to revolutionize computing methodologies, requiring strategic resource management and ongoing innovation in quantum control systems and hybrid algorithm development.

Quantum accelerator; quantum algorithm; qubit; quantum computer model; quantum entanglement; superposition; quantum parallelism.

Введение

Цифровая революция сильно изменила наш образ жизни, значительно увеличив наши вычислительные возможности и демократизировав доступ к ним. Будь то поиск маршрута к следующей встрече, поездка туда на скоростном поезде или просто проверка погоды перед отъездом, мы полагаемся на сложные компьютерные расчеты, доступ к которым в основном осуществляется через Интернет. В этой ситуации суперкомпьютерные центры и центры обработки данных играют центральную роль, размещая значительные вычислительные ресурсы, к которым их пользователи могут получить удаленный доступ. Это специализированное аппаратное обеспечение предназначено для более эффективного выполнения определенных функций, чем другие системы, такие как центральные процессоры (ЦП), архитектура которого рассчитана на универсальное использование. Эффективность аппаратного ускорения также помогает решить важнейшую проблему отрасли: потребление энергии. Суперкомпьютеры потребляют значительное количество энергии: по оценкам, системам Top500 HPC требуется более 650 МВт в совокупности при работе на пиковой мощности [1]. Другие ускорители, особенно графические процессоры, получают повышенную производительность благодаря своей специализированной конструкции и/или повышенному параллелизму, но в конечном итоге полагаются на ту же вычислительную парадигму (обычно на основе «фон Неймана») или, по крайней мере, технологию (обычно на основе CMOS), что и оборудование общего назначения. В отличие от этого, квантовые компьютеры позволяют фундаментально изменить формулировку задач, снижая класс сложности некоторых ключевых приложений [2]. Это изменение лежит в основе их потенциального преимущества. Квантовые компьютеры кодируют информацию в виде квантовых битов (кубитов) и используют внешние сигналы (например, микроволны или лазеры) для управления ими. Используя свойства квантовой физики, они могут быть использованы квантовыми алгоритмами для достижения экспоненциального улучшения масштабирования ресурсов. Несколько таких квантовых алгоритмов уже разработаны [3].

1. Теория квантовых вычислений

Моделирование квантовых систем [4], например, для химии или исследования материалов, задач оптимизации и решения дифференциальных уравнений, например, для гидродинамики или финансового прогнозирования, являются одними из ключевых областей, в которых были идентифицированы квантовые алгоритмы [5]. На практике эти квантовые алгоритмы обычно являются частью более крупных вычислений, выполняемых в системах НРС [6]. Таким образом, координация полных гибридных вычислений между различными узлами классических и квантовых вычислений [7] имеет важное значение. Управление этими ресурсами становится еще более важным с учетом того, что будущие гибридные системы, вероятно, будут иметь несколько квантовых ускорителей, возможно, с разными характеристиками. Эти характеристики могут включать, например, количество кубитов [8], время их когерентности и точность вентиля. Как долго информация, хранящаяся в кубитах, является надежной, а точность вентиля зависит от качества операций (то есть вентилях [9]), которые необходимо выполнить. Потенциал квантового ускорения был четко определен суперкомпьютерными центрами: недавнее исследование показало, что 76% центров высокопроизводительных вычислений по всему миру планируют использовать эту технологию к 2023 году, а 71% планируют перейти на локальные квантовые вычисления к 2026 году. Более того, некоторые мероприятия по содействию интеграции этих систем продолжаются или были объявлены, в частности, европейскими странами и Европейской комиссией [10]. Рассмотрим последствия интеграции квантовых вычислений в качестве ускорителя высокопроизводительных вычислений и влияние, которое это оказывает на вычислительные подходы. Также будет проанализировано влияние различных архитектур развертывания на производительность гибридной классически-квантовой системы.

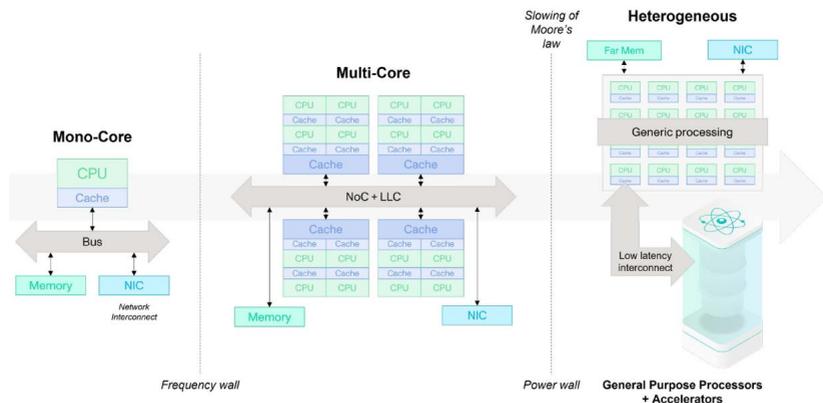


Рис. 1. Эволюция вычислительной архитектуры

Интеграция квантовых вычислений в НРС требует подхода, аналогичного подходу к другим ускорителям, которые мы видели в прошлом. Классический хост — это компьютер, который требует выполнения задач с помощью ускорителя. Хост перегружает эти задачи ускорителю, который выполняет задачи и возвращает желаемый результат. Разгрузка — это широко известный метод использования ускорителей, при котором отдельные ядра передаются на ускорители, чтобы они могли использовать эти ресурсы для своих специализированных превосходных возможностей, что приводит к сокращению общего времени принятия решения. Как будет обсуждаться позже, квантовые ускорители также могут получить выгоду от загрузки, когда часть классической обработки, необходимой для облегчения работы контроля качества, может выиграть от запуска в системе НРС. Успешная интеграция квантового ускорителя в среду НРС зависит от того, что сообщество пользователей НРС научится переосмысливать свои проблемы с учетом этих новых ресурсов; и это переосмысление должно осуществляться по нескольким различным направлениям.

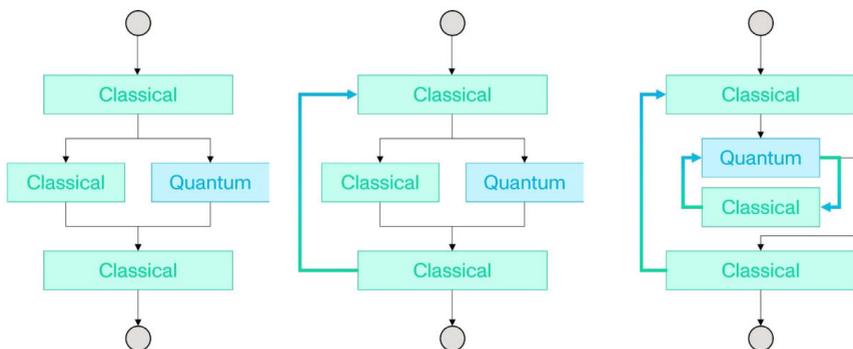


Рис. 2. Гибридные алгоритмы, использующие квантовое ускорение в (а) линейном и (б) итеративном рабочих процессах, а также (в) рабочем процессе, включающем работу по загрузке

Из-за присущей измерениям в квантовой механике вероятностной природы квантовый алгоритм должен повторяться несколько раз, и статистика результатов измерений обеспечивает желаемый результат работы алгоритма. Из-за этого квантовые алгоритмы больше всего напоминают классические методы прямого решения в том смысле, что промежуточные результаты бесполезны для решения проблемы, решением является только конечный результат. Из-за отсутствия использования методов прямого решения в высокопроизводительных вычислениях наш подход должен быть переосмыслен, и мы должны рассмотреть, какие части решаемых научных проблем могут быть оценены быстрее или точнее с помощью квантового компьютера. На этом этапе все ресурсы вычислений могут быть использованы с максимальной отдачей.

2. Разработка квантового ускорителя

Сверхпроводящие схемы – одна из ведущих технологий квантовых вычислений, направленная на решение сложных задач, недоступных классическим компьютерам. Предполагается разработка системы управления сверхпроводящими кубитами. Квантовые информационные процессоры требуют дорогостоящих электронных средств управления, которые могут точно манипулировать кубитами. Необходимо решить проблемы управления, разрабатывая модульное управляющее оборудование для нынешних и будущих сверхпроводниковых процессоров и открывая исходный код полного стека системы, чтобы к нему можно было получить доступ, улучшить

и использовать более широкое научное сообщество в области квантовой информатики.

Система объединяет радиочастотную систему FPGA (программируемая пользователем вентилятная матрица), которая модулирует сигналы при комнатной температуре для манипулирования и измерения сверхпроводящих кубитов, охлажденных до криогенных температур.

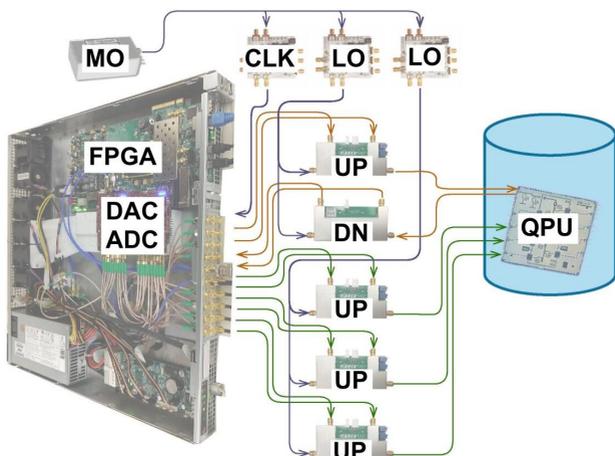


Рис. 3. Квантовый ускоритель на сверхпроводящих схемах

Заключение

В заключение отметим, что интеграция квантовых вычислений в качестве ускорителя в системах высокопроизводительных вычислений (HPC) является естественным прогрессом, учитывая значительное совпадение между приложениями квантовых вычислений и областями исследований, требующими больших вычислительных ресурсов. Квантовые алгоритмы показали себя многообещающими в таких областях, как моделирование квантовых систем, задачи оптимизации и дифференциальные уравнения, которые играют центральную роль в различных научных и промышленных приложениях. Поскольку квантовые алгоритмы обычно являются частью более крупных вычислений, выполняемых в системах HPC, решающее значение имеет координация гибридных вычислений на классических и квантовых узлах. Эта координация становится еще более важной, учитывая, что будущие гибридные системы, вероятно, будут включать в себя несколько квантовых ускорителей с различными характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. N. C. Jones, J. D. Whitfield, P. L. McMahon, M.-H. Yung, R. V. Meter, A. Aspuru-Guzik, and Y. Yamamoto, Faster quantum chemistry simulation on fault-tolerant quantum computers, *New Journal of Physics* 14, 115023 (2012);
2. P. W. Shor, Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer, *SIAM J. Comput.* 26, 1484.1509 (1997);
3. A. W. Harrow, A. Hassidim, and S. Lloyd, Quantum algorithm for linear systems of equations, *Phys. Rev. Lett.* 103, 150502 (2009);
4. P. W. Shor, Scheme for reducing decoherence in quantum computer memory, *Phys. Rev. A* 52, R2493 (1995);
5. D. Gottesman, Stabilizer codes and quantum error correction (California Institute of Technology, 1997);
6. Bernstein, E., Vazirani U. Quantum complexity theory. In *Proceedings of the 25th ACM Symposium on the Theory of Computing*, pages 11 – 20, 1993;
7. *Кайе Ф.* Введение в квантовые вычисления [Текст] / Ф. Кайе, Р. Лафлам. – Москва; Ижевск: ПХД, 2009. – 360 с.;
8. *Guzik V.* Architecture and Software Implementation of a Quantum Computer Model / V. Guzik, S. Gushanskiy, M. Polenov, V. Potapov // 5th Computer Science On-line Conference 2016 (CSOS), Czech Republic, 2016. – P. 59 – 68;
9. *Guzik V., Gushanskiy S., Polenov M., Potapov V.* Development of Methodology for Entangled Quantum Calculations Modeling in the Area of Quantum Algorithms // 6th Computer Science On-line Conference 2017 (CSOS), Czech Republic, 2017. – P. 106 – 115;
10. *Бронштейн И. Н.* Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – Москва: Изд-во “Физматлит”, 1986. – 544 с.

Гушанский Сергей Михайлович – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», e-mail: smgushanskiy@sfnu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 8(8634)371656; кафедра вычислительной техники; к.т.н., доцент.

Мушаев Алтман Яшкулович – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», e-mail: mushaev@sfnu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 8(8634)371656; кафедра вычислительной техники; аспирант.

Gushanskiy Sergey Mikhailovich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

Mushaev Altman Yashkulovich – Federal State Educational Institution of Higher Education “Southern Federal University”, e-mail: mushaev@sfedu.ru; 347928, Taganrog, lane. Nekrasovsky, 44; tel.: 8(8634)371656; Department of Computer Science; graduate student.

УДК 519.688

Цветков Фёдор Алексеевич, Михайловский Виталий Алексеевич,
Васильев Василий Васильевич

МОДЕЛЬ 4GFSK-КАНАЛА ДЛЯ КВ-РАДИОСВЯЗИ

В докладе показывается результат моделирования на языке LabVIEW канала для КВ-радиосвязи сигналом со структурой 4GFSK и аддитивным нормальным шумом.

Оценены зависимости вероятности битовой ошибки от уровня шума для сигнала минимальной структуры, с кодером Голя и с перемежением бит. Результаты моделирования проиллюстрированы временными диаграммами в ключевых точках модели.

Благодарности: Материалы статьи подготовлены при поддержке проекта № ВнГр/23-01-РТ «Исследование программно определяемых радиосистем» в Южном федеральном университете.

Моделирование, 4GFSK-сигнал, MLS-последовательность, кодер Голя, перемежение бит, LabVIEW.

Fedor Alekseevich Tsvetkov, Vitaly Alekseevich Mikhailovsky,
Vasily Vasilyevich Vasiliev

4GFSK-CHANNEL MODEL FOR HF RADIO COMMUNICATION

The report shows the result of modeling in the LabVIEW language of a channel for HF radio communication with a signal with a 4GFSK structure and additive normal noise.

The dependences of the probability of bit error on the noise level for a signal of minimal structure, with a Golay encoder and with bit interleaving are estimated. The simulation results are illustrated by time diagrams at key points of the model.

Acknowledgements: The materials of the article were prepared with the support of project No. VnGr/23-01-RT “Research of software-defined radio systems” at the Southern Federal University

Modeling, 4GFSK signal, MLS sequence, Golay encoder, bit interleaving, LabVIEW.

Введение

Одним из приоритетов научно-технологического развития науки, технологий и техники в Российской Федерации является обеспечение связности арктической территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных телекоммуникационных систем, в частности путем применения цифровых каналов радиосвязи в коротковолновом (КВ) диапазоне при передаче сигналов на большие дистанции, а также сигналов, имеющих повышенную устойчивость к флуктуациям параметров этих каналов радиосвязи.

Для радиосвязи в КВ-диапазоне широко применяются сигналы с частотной манипуляцией (ЧМн или FSK – frequency shift key), устойчивые к флуктуации амплитуды и фазы несущей [1 – 3]. Для уточнения устойчивости таких сигналов к помехам, в частности к аддитивному нормальному шуму, при различных алгоритмах их формирования и обработки была разработана на языке LabVIEW модель канала для КВ-радиосвязи сигналом со структурой 4GFSK (гауссово FSK с 4-мя частотными позициями).

Основная часть

Структурная схема моделировавшегося канала связи показана на рис. 1.

Датчик передаваемых битов формирует последовательность из 120 псевдослучайных передаваемых битов.

В кодере Голея (12/23) они разделяются на 10 подпоследовательностей длиной 12 бит каждая. Каждая подпоследовательность дополняется 11-битовой контрольной суммой Голея и одним битом четности. Полученные 24-битовые подпоследовательности объединяются в одну последовательность длиной 240 бит.

Переमेжитель бит разделяет эту последовательность на 10 блоков длиной по 24 бита и составляет 2-мерный массив, в котором каждый блок является строкой; затем этот массив транспонируется, из него извлекаются

24-битовые строки, которые последовательно пристыковываются одна к другой. В результате образуется последовательность их 240 перемеженных бит.

В модели предусмотрено 3 варианта формирования передаваемого битового сигнала:

а) 120 передаваемых бит подаются непосредственно на вход вычислителя индексов частот поднесущих минуя кодер Голея и перемежитель битов;

б) 120 передаваемых бит проходят через кодер Голея и получившиеся 240 бит подаются на вход вычислителя индексов частот поднесущих минуя перемежитель битов;

в) 120 передаваемых бит проходят через кодер Голея и перемежитель битов и в виде 240 битов подаются на вход вычислителя индексов частот поднесущих.

Вычислитель индексов частот поднесущих разделяет получаемую им последовательность на последовательность 2-битовых кодов, каждый из которых является номером (индексом) элемента в таблице частот из 4-х равноотстоящих поднесущих. Полученная последовательность индексов частот подается на формирователь образов, в который подаются отсчеты последовательности максимальной длины MLS, используемой для синхронизации передатчика и приемника.

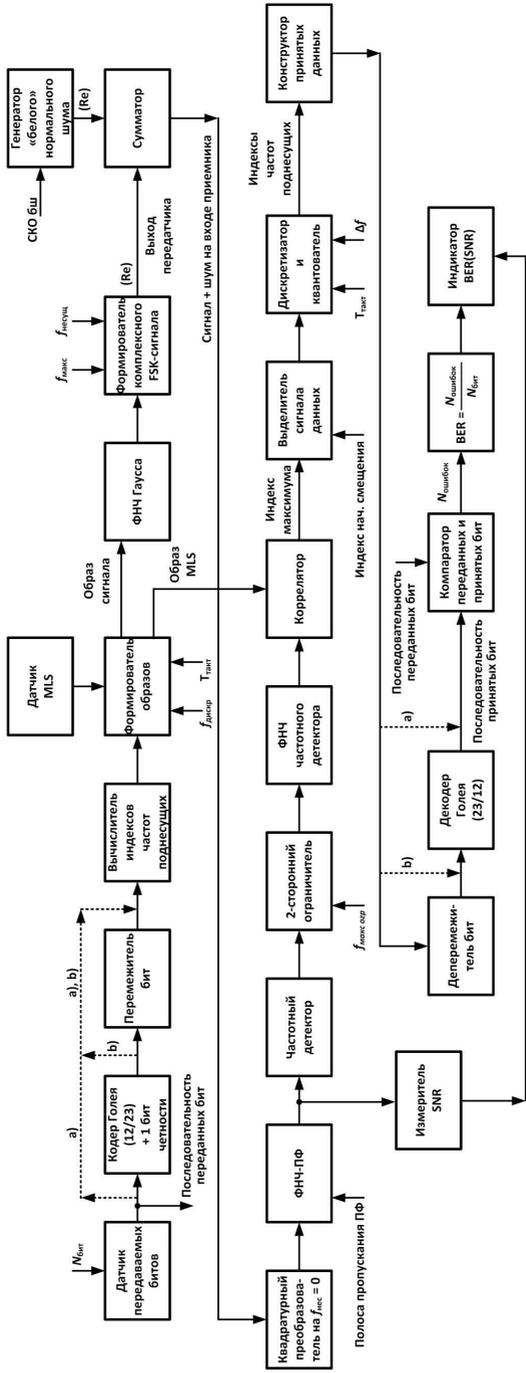


Рис. 1. Структурная схема канала связи

Последовательность максимальной длины формировалась имеющимся в LabVIEW узлом **Binary MLS VI** с параметрами N MLS, MLS order, MLS seed и MLS initialize? Последующее исследование показало, что нужное качество синхронизации достигается при N MLS = 16, MLS order = 4, MLS initialize? = True и MLS seed = 7FFFFFFFFFFFFFFF. Эта последовательность имеет вид 1110001001101011.

В формирователе образов MLS-последовательность вставляется перед последовательностью сигнальных индексов частот, а затем создается образ частот поднесущих передаваемого сигнала из величин +3, +1, -1, -3, где «+3» означает максимальную частоту поднесущей, «-3» – минимальную, а MLS-биты кодируются максимальной и минимальной частотой. Кроме того, отдельно создается образ MLS-последовательности из величин «+1», «-1» для использования в корреляторе приемника. Оба образа создаются в виде последовательности отсчетов с частотой дискретизации $f_{\text{дискр}}$ и длительностью тактового интервала $T_{\text{такт}}$, т.е. в виде последовательностей отсчетов с заданными временными параметрами. На рис. 2 представлена последовательность отсчетов образа MLS-последовательности при $f_{\text{дискр}} = 48$ кГц и $T_{\text{такт}} = 20$ мс (в одном такте 960 отсчетов), а на рис. 3 – последовательность отсчетов образа сигнала с MLS-последовательностью в ее начале при тех же временных параметрах и некоторой псевдослучайной последовательности из 120 передаваемых битов.



Рис. 2. Последовательность отсчетов образа MLS-последовательности



Рис. 3. Последовательность отсчетов образа сигнала

Последовательность отсчетов образа сигнала имеет резкие перепады уровней, которые вызовут излишне широкий спектр излучаемого передатчиком сигнала. Для уменьшения ширины спектра сигнала образ сигнала

пропускается через ФНЧ Гаусса с конечной импульсной характеристикой. Импульсная характеристика ФНЧ Гаусса показана на рис. 4, она имеет параметры: длина – 960 отсчетов, «СКО» – 180 отсчетов.



Рис. 4. Импульсная характеристика ФНЧ Гаусса

На рис. 5 показан образ сигнала на выходе ФНЧ Гаусса.

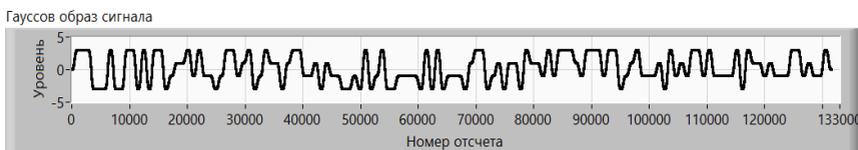


Рис. 5. Образ сигнала на выходе ФНЧ Гаусса

Формирователь комплексного FSK-сигнала является частотным модулятором комплексного несущего колебания со средней частотой $f_{\text{несущ}}$ и девиацией частоты $f_{\text{макс}}$. График отклонений мгновенной частоты этого колебания от несущей при $f_{\text{макс}} = 150$ Гц показан на рис. 6.

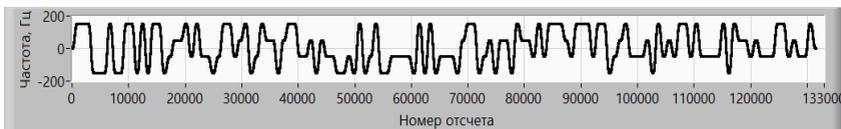


Рис. 6. График отклонений мгновенной частоты от несущей

В формирователе перед и после сигнала добавляются массивы нулевых отсчетов для оценки в их месте в приемнике уровня шумов. У сфор-

мированного комплексного FSK-сигнала с ненулевой частотой несущей используется только вещественная составляющая, как это и происходит в передатчиках радиопередающих устройств. На рис. 7 показан вид этого сигнала при частоте несущей $f_{\text{несущ}} = 2$ кГц.

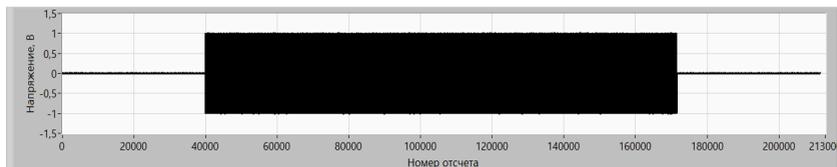


Рис. 7. Сигнала на выходе передатчика

Генератор «белого» нормального шума вырабатывает отсчеты псевдослучайного вещественного некоррелированного гауссова шума с заданным среднеквадратическим отклонением СКО бш. Сумма этого шума с отсчетами сигнала с выхода передатчика рассматривается как входной сигнал приемника.

В приемнике сигнал с шумом сначала «сдвигается» по частоте на частоту несущей, равной нулю, квадратурным преобразователем частоты. Подбирая частоту гетеродина в этом преобразователе можно задать сигналу на его выходе не точно нулевую частоту несущей, имитируя не точную настройку приемника на частоту сигнала. Выходной комплексный сигнал преобразователя частоты проходит через комплексный полосовой фильтр с полосой пропускания Π и центральной частотой равной нулю, т.е. его полоса пропускания от $-\Pi/2$ до $+\Pi/2$. Реализуется этот фильтр двумя идентичными вещественными КИХ-фильтрами нижних частот с верхними граничными частотами $\Pi/2$, фильтрующими раздельно вещественную и мнимую составляющую комплексного входного сигнала. После фильтрации выполняется понижение частоты дискретизации. На рис. 8 показана реализация смеси комплексного сигнала и шума после фильтра (частота дискретизации 4 кГц, отношение сигнал/шум 5,0 дБ).

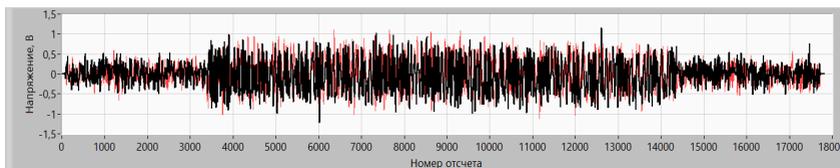


Рис. 8. Сигнала на выходе ФНЧ ПФ

Для измерения отношения сигнал/шум (ОСШ или SNR) выделяется два фрагмента входного сигнала с 300-го и 14500-го отсчета длиной 3000 отсчетов и по ним оценивается $СКО_{ш}$ шума, а по фрагменту с 3600-го отсчета длиной 10500 отсчетов – $СКО_{сш}$ смеси сигнала с шумом. После этого ОСШ оценивается по формуле

$$ОСШ = \frac{\sqrt{СКО_{сш}^2 - СКО_{ш}^2}}{СКО_{ш}}$$

Частотный детектор вычисляет мгновенную частоту по формуле [4]

$$f(t_i) = \frac{f_D}{2\pi} \arg[u(t_i) \cdot u^*(t_{i-1})],$$

где $\arg[...]$ обозначает угол (фазу или аргумент в радианах) комплексного числа в квадратных скобках, $u(t_i)$ – текущий отсчет детектируемого сигнала, $u(t_{i-1})$ – предыдущий отсчет.

Непосредственно после частотного детектора из-за присутствия шумов сигнал имеет короткие выбросы в диапазоне $\pm f_{дискр}$ (в данном случае ± 2 кГц). Особенно часто выбросы повторяются на интервалах отсутствия сигнала. Эти выбросы не позволяют корректно работать синхронизатору на основе коррелятора. Поэтому выходной сигнал детектора пропускается через двусторонний ограничитель по уровням $\pm f_{макс\ огр}$ (в данном случае $f_{макс\ огр} = 450$ Гц) и через ФНЧ частотного детектора ($f_{макс} = 50$ Гц). На рис. 9 показаны сигнал на выходе двустороннего ограничителя и сигнал на выходе ФНЧ частотного детектора при ОСШ = 6 дБ.

На рис. 10 показан сигнал на выходе коррелятора: взаимокорреляционная функция между сигналом на выходе ФНЧ частотного детектора и децимированного образа MLS так же при ОСШ = 6 дБ. Абсцисса ее максимума принимается за оценку момента начала сигнала данных.

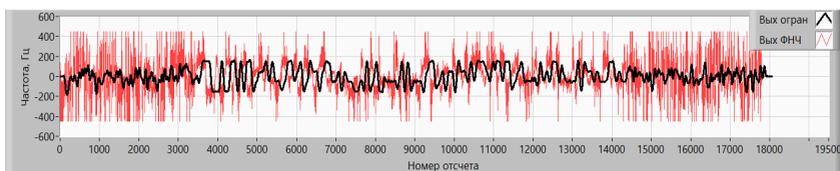


Рис. 9. Сигнала на выходе ограничителя и ФНЧ ЧД

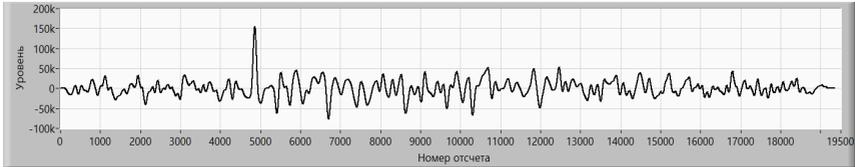


Рис. 10. Сигнала на выходе коррелятора

Выделитель сигнала данных выделяет массив отсчетов сигнала данных от найденного момента его начала, при этом начало этого массива несколько корректируется от максимума взаимокорреляционной функции. На рис. 11 показан выделенный массив отсчетов (Вых ФНЧ ЧД).

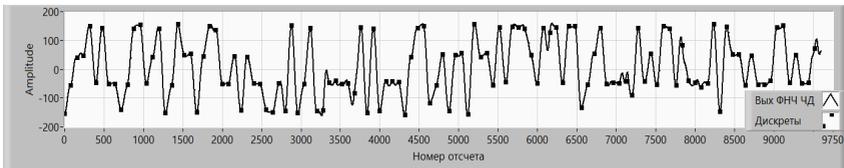


Рис. 11. Выделенный массив отсчетов и дискреты через интервалы $T_{\text{такт}}$

Дискретизатор из выделенного массива отсчетов выбирает отсчеты (дискреты) через интервалы времени $T_{\text{такт}}$, несущие информацию о переданных данных. На рис. 11 дискретные отсчеты показаны точками.

Квантователь определяет номер кванта (индекс частоты поднесущей) высотой Δf , в котором оказывается каждый отсчет. Из рис.11 видно, что точки-дискреты группируются в четырех зонах-квантах высотой $\Delta f = 100$ Гц, разделенных уровнями -100 Гц, 0 Гц и $+100$ Гц. Номер кванта является индексом частоты поднесущей и указывает на пересылаемый 2-х битовый код данных.

Конструктор принятых данных по индексам частот поднесущих определяет 2-х битные коды и собирает их в последовательность из 240 бит, которая подается на депережежитель бит, восстанавливающий исходную последовательность бит.

В декодере Голея эта последовательность сначала разделяется на 10 блоков по 24 бита, каждый из которых подвергается декодированию Голея «23/12», позволяющему исправить до 3-х ошибочных бит. В результате получается 10 последовательностей по 12 бит, объединяемых в последовательность принятых бит. Компаратор кодовых последовательностей сравнивает принятые и переданные биты, подсчитывает количество оставших-

ся ошибочных бит $N_{\text{ошибок}}$ и вычисляет оценку вероятности битовой ошибки

$$\text{BER} = \frac{N_{\text{ошибок}}}{N_{\text{бит}}}$$

Так как передаваемые биты – псевдослучайная последовательность и шум тоже псевдослучайная последовательность, то вычисленное BER является флуктуирующей оценкой. Для повышения ее устойчивости в модели предусмотрено многократное повторение вышепоказанных вычислений и усреднение получаемых оценок BER. Усредняются также и получаемые значения ОСШ. После достижения достаточно стабильной пары BER-ОСШ СКО бш уменьшается и все расчеты повторяются. В результате получается зависимость BER(ОСШ).

Разработанная модель позволяет исследовать влияние параметров модели на BER. Например, исследовано влияние использования кодирования Голея и перемежения. На рис. 12 показаны зависимости BER(ОСШ) для этих трех ситуаций.

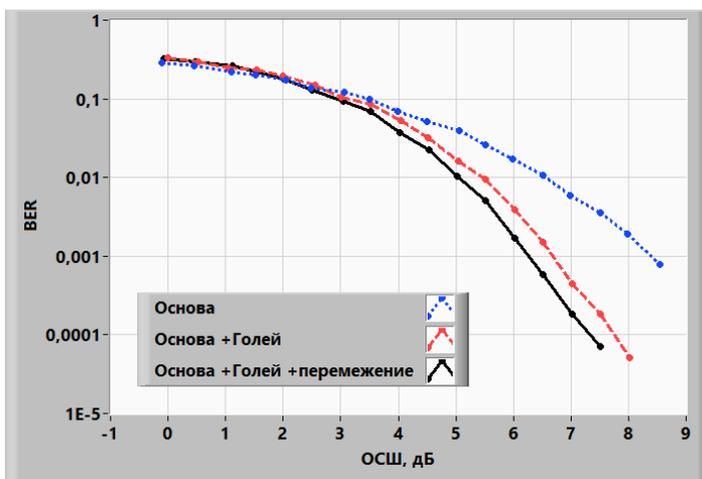


Рис. 12. Зависимости BER(ОСШ) для трех алгоритмов

Выводы

В работе описана программная модель 4GFSK-канала для КВ-радиосвязи, написанная на языке LabVIEW. Модель обладает большой гибкостью, возможностью подстройки многих параметров модели.

Продемонстрирована зависимость вероятности битовой ошибки от структуры алгоритма обработки сигналов.

Работа выполнена в рамках проекта № ВнГр/23-01-РТ «Исследование программно определяемых радиосистем» в Южном федеральном университете».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пропис Джон*. Цифровая связь. Пер. с англ. /Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь. 2000. – 800 с.: ил.
2. Скляр Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1104 с. : ил. – Парал. тит. англ.
3. *Дворкович В.П., Дворкович А.В.* Теория, практика и метрология аудиовизуальных систем. – М.: Техносфера, 2019. – по 1396 с.: ил. В 2-х книгах.
4. *Цветков Ф.А.* Программно-конфигурируемые радиоустройства: принципы построения и алгоритмы обработки сигналов: учебное пособие / Ф.А. Цветков, В.В. Терешков; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. – 143 с.

Цветков Фёдор Алексеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ИРТСУ, доцент кафедры ТОР ИРТСУ, Россия, г. Таганрог, ул. Энгельса, 1, 347900, телефон: +7-928-139-58-99, email: facvetkov@sfedu.ru.

Михайловский Виталий Алексеевич, директор ООО «Эксперт Групп», Россия, 347923, Ростовская область, г.о. город Таганрог, г. Таганрог, ул. Инструментальная 2-31, строение 5, телефон: +7-928-901-85-78, email: vitaly@sunsdr.com.

Васильев Василий Васильевич, исполнительный директор ООО «Ратем», Россия, 347923, Ростовская область, г.о. город Таганрог, г. Таганрог, ул. Инструментальная 2-31, строение 5, телефон: +7-928-777-70-68, email: vasily@sunsdr.com.

Tsvetkov Fedor Alekseevich, Candidate of Technical Sciences, Leading researcher of RTSU, Associate Professor of the Department of TOP IRSU, Russia, Taganrog, Engels str., 1, 347900, phone: +7-928-139-58-99, email address: facvetkov@sfedu.ru.

Mikhailovsky Vitaly Alekseevich, Director of Expert Group LLC, Russia, 347923, Rostov region, Taganrog city, Taganrog, Instrumentalnaya str, 2-31, building 5, phone: +7-928-901-85-78, email: vitaly@sunsdr.com.

Vasiliev Vasily Vasilyevich, Executive Director of LLC «Ratem», Russia, 347923, Rostov region, Taganrog city, Taganrog, Instrumentalnaya str, 2-31, building 5, phone: +7-928-777-70-68, email: vasily@sunsdr.com.

УДК 621.396

Юрченко Анастасия Юрьевна, Кандаурова Елена Александровна,
Шевцов Андрей Петрович

КОНЦЕПЦИЯ ФРЕЙМА В РАЗЛИЧНЫХ НАУЧНЫХ СФЕРАХ

В данной статье рассматривается концепция фреймов как один из подходов к представлению знаний, который нашёл применение в различных научных областях. Первоначально введённый Марвином Минским для описания структур знаний, фрейм стал ключевым элементом в инженерии знаний, социальных и гуманитарных науках, а также в искусственном интеллекте. Фреймы позволяют моделировать и структурировать информацию, упрощая её обработку и использование. Особое внимание уделено применению фреймов в системах обработки естественного языка и их роли в создании более гибких и универсальных систем искусственного интеллекта. Статья подчёркивает важность фреймов для интеграции человеческого восприятия и компьютерных систем, а также их потенциал для развития интеллектуальных систем и анализа данных

Фрейм, искусственный интеллект, представление знаний, структура данных, гибкие системы.

Yurchenko Anastasiya Yuryevna, Kandaurova Elena Aleksandrovna,
Shevtsov Andrey Petrovich

FRAME CONCEPT IN VARIOUS SCIENTIFIC FIELDS

This article examines the concept of frames as one of the approaches to knowledge representation, which has found application in various scientific domains. Initially introduced by Marvin Minsky to describe knowledge structures, frames have become a key element in knowledge engineering, social and humanitarian sciences, as well as in artificial intelligence. Frames allow for modeling and structuring information, simplifying its processing and utilization. Special attention is paid to the use of frames in natural language processing systems and their role in creating more flexible and versatile artificial intelligence systems. The article emphasizes the importance of

frames for integrating human perception and computer systems, as well as their potential for developing intelligent systems and data analysis.

Frame, artificial intelligence, knowledge representation, data structure, flexible systems.

Введение

Ежедневно мы сталкиваемся с большими объёмами информации, которую необходимо систематизировать, обрабатывать и применять в различных сферах деятельности. Для этого были разработаны системы представления знаний. Одним из подходов к представлению знаний является концепция фреймов, которая нашла применение в различных научных областях и позволяет интегрировать, например, восприятие информации человеком и искусственным интеллектом. Это удобная и систематичная модель, обладающая значительным потенциалом для развития систем искусственного интеллекта и анализа данных.

Основная часть

Само слово «фрейм» (от англ. frame – каркас, рамка) имеет формулировки в разных предметных областях, связанных между собой. Первоначально термин «фрейм» ввёл Марвин Минский в 70-е годы XX века для обозначения структуры знаний для восприятия пространственных сцен [1]. Фрейм с точки зрения инженерии знаний – это модель абстрактного образа, минимально возможное описание сущности какого-либо объекта, явления, события, ситуации, процесса.

Фрейм с точки зрения социальных и гуманитарных наук (таких, как социология, психология, коммуникация, кибернетика и др.) – понятие, означающее в общем виде смысловую рамку, используемую человеком для понимания чего-либо и действий в рамках этого понимания, целостность, в пределах которой люди осмысливают себя в мире. Другими словами, фрейм – устойчивая структура, когнитивное образование (знания и ожидания), а также схема представления, определение ситуации, основанное на управляющих событиями принципах организации и вовлечённости в события. Важным является то, что фрейм начинает рассматриваться как динамическая структура с «активными зонами» [2].

Концепция фреймов в лингвистических науках представляет собой когнитивные структуры, которые помогают людям понимать и интерпретировать язык в контексте. Этот термин был введён Чарльзом Филлмором в рамках теории фреймов семантики. Фреймы помогают определить кон-

текст, в котором используется слово или выражение, связывают слова и понятия с общими ситуациями или сценариями и являются частью когнитивных структур, которые организуют наши знания о мире [3].

В медицине фреймы помогают в создании экспертных систем, которые могут поддерживать врачей в диагностике и лечении, предлагая структурированную информацию о симптомах, диагнозах и методах лечения. Это делает возможным создание более точных и надёжных медицинских систем, которые могут работать в различных клинических условиях.

В искусственном интеллекте фреймы представляют собой структуру данных, используемую для описания знаний или представления информации о концепте или объекте. Фреймы содержат слоты (атрибуты) и значения этих слотов, которые описывают характеристики и свойства объекта. Фреймы в искусственном интеллекте используются для моделирования знаний и решения задач, таких как классификация, понимание естественного языка, планирование и многое другое. Они позволяют представить знания в структурированной форме, что упрощает обработку и использование этой информации компьютерной программой.

Применение фреймов в искусственном интеллекте позволяет создавать более гибкие и универсальные системы, способные адаптироваться к различным ситуациям и условиям [4]. Они также позволяют легко расширять и изменять модель знаний без необходимости переписывания всего кода. В целом, в искусственном интеллекте это мощный инструмент для представления и организации знаний, что позволяет компьютерным программам эффективно использовать их для принятия решений и выполнения задач.

Фрейм можно представлять себе в виде сети из узлов и отношений. Это структуры данных, которые позволяют организовать объекты в иерархическую структуру. Фреймы содержат слоты, которые представляют собой пары ключ-значение, где ключ – это имя слота, а значение – это данные, связанные с этим слотом. Верхние уровни фрейма фиксированы и содержат вещи, всегда истинные в предполагаемой ситуации. Нижние уровни содержат много терминалов, т. е. ячеек, которые надо заполнить конкретными случаями или данными. Каждый слот в свою очередь представляется определенной структурой данных. В значение слота подставляется конкретная информация, относящаяся к объекту, описываемому этим фреймом [5].

Благодаря такой структуре фреймы могут быть организованы в иерархическую структуру, где каждый фрейм может содержать подфреймы. Это позволяет моделировать сложные объекты и их взаимосвязи на различных уровнях абстракции, упрощая управление знаниями и их обновление [6]. С их помощью можно легко добавлять новые слоты или подфреймы, адаптируя модель знаний к изменяющимся требованиям и задачам. Это делает системы, основанные на фреймах, более гибкими и способными к адаптации [7]. Фреймы могут содержать ссылки на другие фреймы, что дает возможность создавать сложные сети знаний и моделировать взаимосвязи между различными концептами, что особенно полезно для понимания и обработки естественного языка, где слова и фразы могут быть взаимосвязаны. Фреймы могут включать слоты, которые обрабатывают исключения и специальные случаи, обеспечивая более точное представление знаний и корректное выполнение задач в нестандартных ситуациях. Также фреймы могут служить шаблонами для создания новых объектов [8]. Например, фрейм «автомобиль» может использоваться как шаблон для создания фреймов конкретных моделей автомобилей, таких как «Toyota Camry» или «Honda Accord», где общие слоты (например, «колеса», «двигатель») наследуются от основного фрейма.

В системах искусственного интеллекта (ИИ) и представления знаний фреймы используются для моделирования и структурирования информации аналогично тому, как они работают в человеческом мышлении. В ИИ фреймы служат для представления знаний в структурированной форме, что облегчает обработку и использование информации. В лингвистике фреймы помогают структурировать смысл слов и выражений в контексте. Оба подхода стремятся организовать информацию так, чтобы её было легко использовать и интерпретировать. В системах обработки естественного языка (NLP) фреймы используются для понимания контекста, что помогает системе правильно интерпретировать смысл текста [9]. Например, NLP-система, использующая фреймы, может понять, что «банк» в контексте финансовой транзакции относится к финансовому учреждению, а не к берегу реки. Фреймы в ИИ могут быть организованы иерархически, что позволяет моделировать сложные взаимосвязи между концепциями [10]. В лингвистике и когнитивной психологии фреймы также могут быть частью более сложных структур знаний, что помогает в понимании более обширных контекстов и сценариев.

Фреймы помогают NLP-системам интерпретировать текст, распознавая ключевые концепты и их взаимосвязи. Например, система может распознать фрейм «поездка» и связать его с понятиями «транспорт», «пункт назначения» и «пассажир». В чат-ботах и голосовых помощниках фреймы используются для поддержания контекста разговора, что позволяет системе более естественно и логично отвечать на вопросы пользователей. В машинном переводе фреймы помогают обеспечить правильное понимание контекста и идиоматических выражений. Например, фрейм «идти на компромисс» может помочь системе правильно перевести это выражение на другой язык, учитывая культурные и лингвистические особенности.

Таким образом, фреймы играют ключевую роль как в лингвистических науках, так и в системах представления знаний и искусственном интеллекте. Они обеспечивают структурированный подход к организации и интерпретации информации, позволяя системам ИИ и NLP эффективно обрабатывать и использовать знания. Связь между фреймами в этих областях подчеркивает важность контекста и иерархической организации знаний для понимания и обработки сложной информации, будь то человеческое мышление или компьютерные системы.

Кроме того, важно отметить, что фреймы облегчают переход от теоретических знаний к практическому применению. В лингвистике это выражается в том, что фреймы помогают учащимся и исследователям понять, как конкретные слова и выражения связаны с общими когнитивными структурами и культурными контекстами. В системах ИИ фреймы позволяют разработчикам создавать модели, которые могут быть легко адаптированы и расширены для решения новых задач. Например, в области робототехники фреймы могут использоваться для моделирования окружающей среды и планирования действий роботов, что позволяет создавать более автономные и интеллектуальные системы.

Выводы

В целом, фреймы представляют собой универсальный инструмент, который объединяет теоретические исследования и практическое применение в различных областях науки и техники. Они позволяют создавать системы, которые могут эффективно использовать знания и адаптироваться к изменяющимся условиям, что делает их весьма полезными в современной науке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Минский М.Л.* Фреймы для представления знаний / Перевод с английского О.Н. Гринбаума. Под редакцией доктора техн. наук Ф.М. Кулакова. Москва: Энергия, 1979. 152 с.
2. *Гусельникова О.В.* Возможности фреймового анализа / Мир науки, культуры, образования. 2009. № 5. С. 29-32.
3. *Шенк Р., Бирнбаум Л., Мей Дж.* К интеграции семантики и прагматики [Электронный ресурс] / Новое в зарубежной лингвистике. Москва: Прогресс. URL: <https://www.psychology-online.net/articles/doc-2083.html> (дата обращения: 20.05.24)
4. *Гусельникова О.В.* Возможности фреймового анализа / Мир науки, культуры, образования
5. *Поспелов Д.А.* Искусственный интеллект / Кн. 2. Модели и методы: Справочник. Москва: Радио и связь, 1990. 304 с.;
6. *Потапов А.С.* Технологии искусственного интеллекта. / СПб.: Университет ИТМО, 2010. 218 с.
7. *Советов Б.Я., Цехановский В.В., Чертовский В.Д.* Представление знаний в информационных системах :учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / 2-е изд.,стер. – Москва: Издательский центр «Академия», 2012. 144 с.
8. *Вилкас, Э.Й.* Решения: теория, информация, моделирование / Э. Й. Вилкас, Е. 3. Майминас. Москва: Радио и связь, 1981. 328 с.
9. *Русанов В.В., Верстин И.С.* Эффективные системы представления знаний на основе естественного языка / Москва: Вестник РЭУ, 2012. № 1.
10. *Поспелов Г. С., Поспелов Г. А.* Искусственный интеллект – прикладные системы. – Москва: Знание, 1985.

Юрченко Анастасия Юрьевна, студент Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, телефон: +7 (918) 560-97-41, email: iurchen@sfedu.ru;

Кандаурова Елена Александровна, студент Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, телефон: +7 (928) 754-43-09, email: ekandaurova@sfedu.ru;

Шевцов Андрей Петрович, студент Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, телефон: +7 (989) 741-98-17, email: ashevtsov@sfedu.ru.

Yurchenko Anastasiya Yuryevna, student at Southern Federal University, Russia, Taganrog city, Phone: +7 (918) 560-97-41, Email: iurchen@sfnedu.ru;

Kandaurova Elena Aleksandrovna, student at Southern Federal University, Russia, Taganrog city, Phone: +7 (928) 754-43-09, Email: ekandaurova@sfnedu.ru;

Shevtsov Andrey Petrovich, student at Southern Federal University, Russia, Taganrog city, Phone: +7 (989) 741-98-17, Email: ashevtsov@sfnedu.ru.

Мукоко Натан Каленга

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ (CNN) ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МАРКЕТИНГОВЫХ ХАБАХ

Введение

Современные маркетинговые хабы требуют эффективных средств для анализа и обработки визуальной информации. В этом контексте использование технологий распознавания изображений на основе сверточных нейронных сетей (CNN) становится актуальным. Проблемы существующих решений, таких как ручная обработка изображений и традиционные алгоритмы машинного зрения, включают ограниченную точность, высокие затраты времени и ресурсов.

Основная часть

Распознавание изображений с помощью нейронных сетей на базе CNN в маркетинговом хабе

Современные маркетинговые хабы требуют эффективных средств для анализа и обработки визуальной информации. В этом контексте использование технологий распознавания изображений на основе сверточных нейронных сетей (CNN) становится актуальным. Проблемы существующих решений, таких как ручная обработка изображений и традиционные алгоритмы машинного зрения, включают ограниченную точность, высокие затраты времени и ресурсов.

Технологические прорывы в области нейронных сетей привели к разработке высокоэффективных моделей CNN, способных анализировать и классифицировать изображения с высокой точностью. Эти модели способны выделять ключевые характеристики изображений и проводить их классификацию. Программирование нейронных сетей осуществляется с ис-

пользованием языков *Python* и специализированных библиотек, таких как *TensorFlow* и *Keras*, что обеспечивает гибкость и мощьность в разработке и обучении моделей [1].

Использование *CNN* в маркетинговом хабе обеспечивает высокую точность распознавания и анализа изображений. Эта технология позволяет автоматизировать процессы обработки визуальных данных, создавая более точные и оперативные маркетинговые стратегии. Благодаря интеграции технологии *CNN*, маркетинговые хабы становятся более эффективными и современными, отвечая текущим требованиям рынка [2].

Архитектура системы распознавания изображений включает обученную модель *CNN*, сервер для обработки и хранения данных, и интерфейс пользователя для взаимодействия с системой. Разработка специализированного программного обеспечения обеспечивает не только распознавание изображений, но и их анализ в реальном времени, что отличает проект от существующих аналогов.

Использование нейронных сетей на базе *CNN* и веб-приложений предоставляет перспективные возможности для маркетинговой деятельности. Высокая точность, возможность обработки данных в реальном времени, оптимизация затрат и легкая адаптация делают эту технологию ключевым инструментом для современного маркетингового хаба.

CNN позволяет автоматизировать рутинные задачи, такие как классификация товаров, анализ пользовательских предпочтений и мониторинг трендов. Это значительно снижает временные затраты и освобождает ресурсы для более творческих задач. Сверточные нейронные сети могут улучшить качество данных за счет более точного распознавания и классификации изображений, что ведет к более обоснованным маркетинговым решениям и повышению эффективности кампаний. Использование *CNN* позволяет анализировать поведение клиентов на основе изображений товаров, которые они просматривают или покупают, что помогает создавать персонализированные предложения и улучшать пользовательский опыт [2].

Технология *CNN* может быть легко интегрирована с другими системами и платформами, используемыми в маркетинговом хабе, такими как *CRM*-системы, системы управления контентом и аналитические платформы. Системы на базе *CNN* способны обрабатывать и анализировать изображения в реальном времени, что позволяет быстро реагировать на изменения рынка и оперативно корректировать маркетинговые стратегии.

Представьте себе крупный онлайн-ритейлер, который использует *CNN* для автоматической классификации и тегирования своих продуктов. Когда новый товар добавляется в каталог, система автоматически распознает его основные характеристики (цвет, форма, категория) и присваивает соответствующие теги. Это значительно ускоряет процесс добавления новых товаров и улучшает навигацию по сайту. Кроме того, на основе анализа изображений товаров, которые пользователи чаще всего просматривают и покупают, ритейлер может формировать персонализированные рекомендации. Например, если система выявляет, что пользователь часто просматривает спортивную обувь определенного бренда, она может предложить ему скидки или новинки этого бренда, что повышает вероятность покупки [1].

Разработка системы распознавания изображений на базе *CNN* включает несколько ключевых этапов. Для обучения модели необходим большой объем изображений, которые должны быть классифицированы и размечены. Данные могут быть собраны из различных источников, включая существующие каталоги товаров и пользовательские загрузки. Обучение *CNN* требует значительных вычислительных ресурсов и времени. В процессе обучения модель учится распознавать и классифицировать изображения на основе предоставленных данных. Это может занять от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от объема данных и сложности модели. После обучения модель интегрируется в систему маркетингового хаба и проходит тестирование для проверки ее точности и производительности. На этом этапе важно обеспечить корректную работу системы в реальных условиях эксплуатации. Технология *CNN* постоянно развивается, и для поддержания высоких показателей точности и эффективности система должна регулярно обновляться. Это включает в себя повторное обучение модели на новых данных и улучшение алгоритмов.

Использование технологий распознавания изображений на основе сверточных нейронных сетей открывает новые горизонты для маркетинговых хабов, делая их более умными, гибкими и эффективными. Внедрение этих технологий позволяет не только улучшить качество предоставляемых услуг, но и значительно повысить конкурентоспособность на современном рынке.

Внедрение нейронных сетей также способствует повышению уровня удовлетворенности клиентов за счет более точных рекомендаций и персонализированного обслуживания. Современные клиенты ожидают быстрого

и точного отклика на свои потребности, и системы на базе CNN способны предоставлять именно такие решения. Таким образом, использование CNN в маркетинговых хабах не только повышает операционную эффективность, но и способствует укреплению лояльности клиентов и увеличению продаж.

С развитием технологий искусственного интеллекта и машинного обучения маркетинговые хабы смогут воспользоваться новыми возможностями для улучшения своих процессов и стратегий. В будущем мы можем ожидать появление еще более сложных и точных моделей CNN, которые будут учитывать все более разнообразные аспекты потребительского поведения и предпочтений. В результате, маркетинговые хабы будут способны предложить клиентам еще более персонализированные и эффективные маркетинговые решения, что будет способствовать дальнейшему росту и успеху бизнеса.

Заключение

Использование технологий распознавания изображений на основе сверточных нейронных сетей открывает новые горизонты для маркетинговых хабов, делая их более умными, гибкими и эффективными. Внедрение этих технологий позволяет не только улучшить качество предоставляемых услуг, но и значительно повысить конкурентоспособность на современном рынке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фостер Д.* Генеративное глубокое обучение / Д. Фостер. – СПб. : Питер, 2020. – 336 с.
2. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. - М.: Диалектика, 2019. - 1104 с.

Мусоко Натан Каленга, Студент в Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого-технический, город Гомель, проспект Октября 44, 246029, телефон: +375256288554, email: nathankaleng@gmail.com.

УДК 004.942, 654.924.56

Сингх Санни, Прибыльский Алексей Васильевич

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ИЗ КОМПЛЕКСА ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ДАТЧИКОВ

В исследовании проводится сравнение методов интеллектуальной классификации пожароопасных ситуаций на основе данных из комплекса взаимосвязанных датчиков. Рассматриваются интеллектуальные классификаторы на основе машинного обучения, статистического анализа и деревьев принятия решения с целью выявления методов, обладающих самым высоким соотношением точности к значению производительности, вычисленной с помощью F-меры, для дальнейшего использования в системе прогнозирования и классификации пожароопасных ситуаций. Проведенный анализ точности и производительности приведенных методов, показал, что наиболее точным и производительными методами оказались Random forest classifier и RNN с LSTM слоями обладающих соотношением точности к производительности 119.99 и 123.30 соответственно.

Классификация, нейронные сети, дерево решений, пожарный датчик, точность, статистический метод.

Singh Sanni, Pribylsky Alexey Vasilievich

INTELLIGENT CLASSIFICATION OF FIRE HAZARDOUS SITUATIONS BASED ON DATA FROM A COMPLEX OF INTERCONNECTED SENSORS

The study compares approaches to intelligent classification of fire hazardous situations based on data from a set of interconnected sensors. Intelligent classifiers based on machine learning, statistical analysis and decision trees are considered in order to identify methods with the highest ratio of accuracy to performance value calculated using F-measure for further use in the system for predicting and classifying fire hazardous situations. An analysis of the accuracy and performance of the above methods showed that the most accurate and productive methods were Random forest classifier and RNN with LSTM layers, with an accuracy to performance ratio of 119.99 and 123.30, respectively.

Classification, neural networks, decision tree, fire sensor, accuracy, statistic method.

Введение. Современные технологические объекты, такие как метрополитен и высокотехнологические предприятия, представляют собой сложные системы с высокими требованиями к пожарной безопасности. Ранее разработанные системы, обладали функцией обнаружения пожаров и их признаков, однако на сегодняшний день тенденции меняется в сторону не только обнаружения признаков пожара, но и их классификация. Современные системы часто полагаются на операторов-экспертов для определения пожароопасной ситуации на основе данных из пожарных датчиков, а также экспертного опыта. Это является еще одной причиной важности автоматизации процесса обнаружения и классификации пожароопасных ситуаций, чтобы минимизировать субъективный человеческий фактор и повысить эффективность принятия решений в нестандартных ситуациях.

Для решения этой задачи предлагается использовать методы и алгоритмы из области интеллектуальных информационных системы, которые могут поддерживать принятие решений на основе предиктивного анализа данных, что минимизирует влияние человеческого фактора. В контексте классификации пожароопасных ситуаций, для повышения точности работы интеллектуальных методов классификации целесообразно использовать экспертные знания при создании обучающей базы данных. Это позволяет учитывать не только обнаруженные ситуации, но и те, которые могли быть пропущены из-за человеческого фактора, например, отсутствия оператора в момент возникновения нестандартной ситуации или простой халатности со стороны человека. Достижение высокой точности и оперативности в классификации пожароопасных ситуаций, используются комплексы взаимосвязанных датчиков, которые собирают данные о состоянии окружающей среды.

Сравнение исследуемых интеллектуальных классификаторов осуществляется по параметрам точности и производительности, это позволяет определить, насколько эффективно предложенное решение справляется с задачей классификации пожароопасных ситуаций.

Описание комплекса взаимосвязанных датчиков. Конструктивно датчик состоит из 14 элементов [1], 8 из которых датчики температуры, 3 ультрафиолетовых датчика дыма, 3 инфракрасных датчика дыма исполненных в металлическом корпусе. Упомянутые датчики контролируется и настраивается дистанционно в режиме реального времени в том числе чувствительность и пороговые значения. Датчик выполнен таким образом,

чтобы воспринимать дым вокруг себя со всех возможных направлений [1,2], что позволяет обнаруживать дым значительно раньше стандартных пожарных датчиков по изменению плотности дыма в разных точках пространства [3]. Математическая модель датчика более подробно рассмотрена в статье [4].

Расчет точности и производительности. Для расчета точности и производительности модели, использовались следующие параметры [5-6]: точность обучающей выборки P_{train} , точность на тестовой выборке P_{test} , производительность V_{sec} и соотношение точности к производительности R_{pv} [7-8].

Точность обучающей выборки и тестовой выборки [9] рассчитывается по одной формуле, за исключением, того, что в первом случае используются данные из обучающей выборки, а во втором случае тестовые данные:

$$P_{train} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN'} \quad (1)$$

$$P_{test} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN'}$$

где TP (True Positives) – количество верно классифицированных аномалий;

TN (True Negatives) - количество верно классифицированных нормальных ситуаций;

FP (False Positives) - количество нормальных ситуаций, неправильно классифицированных как аномалии;

FN (False Negatives) - количество аномальных ситуаций, неправильно классифицированных как нормальные.

Формула производительности:

$$V_{sec} = \frac{sample_size}{t_{end} - t_{start}}, \quad (2)$$

sample_size – размер классифицируемой выборки;

t_{start} – время начала выполнения модели, секунды;

t_{end} – время окончания выполнения модели, секунды.

Соотношение точности к производительности с помощью F-меры с порогом точности, чем выше это значение, тем более точная система при сохранении высокой производительности:

$$R_{pv} = \begin{cases} \frac{(1 + \beta^2) * P_{test} * V_{sec}}{\beta^2 * P_{test} + V_{sec}}, & \text{если } P_{test} \leq T \\ \frac{(1 + \beta^2) * P_{test} * (W_p * V_{sec})}{\beta^2 * (W_p * V_{sec}) + P_{test}}, & \text{если } P_{test} > T \end{cases}, \quad (3)$$

где β – параметр, определяющий вес точности по отношению к производительности, в работе принят равным 2;

T – порог точности;

W_p – дополнительный вес производительности, если точность превышает порог T , равен 2, если производительность больше 10000 и равен 0.1 если производительность меньше 10000.

Выборка данных. В процессе тестирования использовались две выборки данных обучающая и тестирующая. Первая выборка содержит разделение данных по 5 параметрам: температура вне датчика, температура внутри датчика и три параметра задымленности, за основу взятые реальные данные обнаруженных аномалий в метрополитенах в местах установки комплекса взаимосвязанных датчиков за 126 прошедших дней. Вторая тестирующая выборка имеет аналогичный предыдущей состав, но количество прошедших дней в этой выборке равно 60.

Кроме того, обе выборки имеют метки пожароопасных ситуаций, зарегистрированных на реальных объектах и размеченных с использованием экспертных знаний.

Тестирование моделей. После моделирование 13 моделей классификации в IDE PyCharm с использованием модулей [10-11] `skikit-learn`, `tensorflow`, `pumru`, `matplotlib` получены следующие показатели точности и производительности (табл. 1).

Таблица 1

Показания точности различных моделей классификации

Модель	Точность на обучающей выборке, %	P_{test} , %	V_{sec} , Значений/сек	R_{pv}
Random forest classifier	99	96	198 599	119.99
Метод опорных векторов SVC	93	90.8	58	23.10
Логистическая регрессия	81	0	10 000 000	0
KNeighborsClassifier (К Ближайших средних)	95	61	15950	76.18
Гауссовский наивный байесовский	78.38	61	2 138 326	76.25
Градиентный бустинг	96.6	64	128 930	79.99
AdaBoost классификатор	96	85	90.509	31.74

BaggingClassifier	99.7	57	669104	71.25
ExtraTreesClassifier	99.9	62	46735	77.47
VotingClassifier	94.3	63	44225	78.72
StackingClassifier	98.5	21.66	60015	27.07
HistGradientBoostingClassifier	96.55	52	772738	65.00
RNN (Recurrent Neural Network) with LSTM	99	98.65	196 555	123.30

Пример работы классификатора представлен на рис. 1.

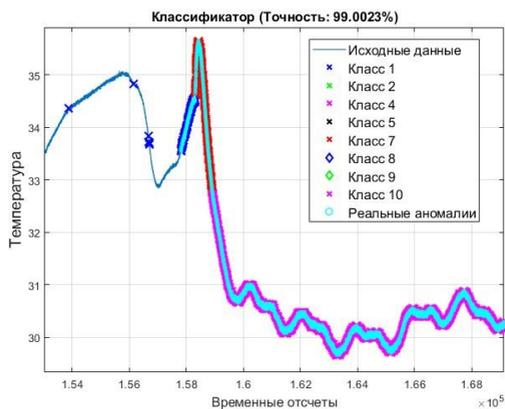


Рис. 1. Пример работы классификатора

На рис. 1, представлен график изменения температуры во времени с нанесенными на него метками реальных пожароопасных ситуаций (реальные аномалии) и распознанных пожароопасных ситуаций (класс и соответствующий ему номер).

Выводы. Исходя из полученных значений точности, производительности и соотношения точности к производительности, можно сделать вывод, что наиболее предпочтительными моделями являются Random forest classifier с параметрами: $P_{test} = 96\%$, $V_{sec} = 198\,599$ значений/сек, $R_{pv} = 119.99$ и RNN с параметрами: $P_{test} = 98.65\%$, $V_{sec} = 196\,555$ значений/сек, $R_{pv} = 123.30$. Соответственно данные модели можно использовать в исследовании и разработки системы прогнозирования и классификации пожароопасных ситуаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Саутин И. Г.* Противопожарная защита: технологии и решения // Транспорт, Противопожарная защита. Пожарная автоматика. Средства спасения, 2018 г.

2. *Саутин И. Г.* Особое мнение. Можно ли доверить свою жизнь дымовому пожарному извещателю? // Алгоритм безопасности 2019, №6.

3. *Ермилов А.В.* Развитие интеллектуальной составляющей управленческой компетентности начальника караула пожарно-спасательной части / А.В. Ермилов, В.А. Смирнов.

4. *Сингх С., Прибыльский А.В.* Синтез системы сверхбыстрого обнаружения пожароопасных ситуаций на основе комплекса взаимосвязанных датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. // 2024. №1

5. *Fedorov A., Bytcinskaya T., Lukuanchenko A., Hung T.D.* Trends in the development of automatic fire detectors. Technol. Technosphere Saf. 2009, 23, 111–114. Available online: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-avtomaticheskikh-pozharnyh-izveschateley-1> (accessed on 20 December 2023).

6. *Petrov A.E., Fedorov A.V., Kochegarov A.V., Lomaev E.N., Preobrazhenskiy A.P.* The Analysis of Network Models for the Design of Industrial and Fire Safety Systems for Oil Refineries. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2021, 808, 012024

7. *Rahman A., Smith D., Little B., Ingham A., Greenwood P., Bishop-Hurley G.,* 2018. Cattle behaviour classification from collar, halter, and ear tag sensors. Inform. Process. Agric. 5 (1), 124–133.

8. *Иванов А.Н.* К вопросу об оценке эффективности пожарной автоматики // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2021.

9. Пожарная техника: учеб.: в 2-х ч. / А.И. Преснов [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2016. Ч. 2. 404 с.

10. Skicit-learn документация. href = <https://scikit-learn.org/stable/> (Дата обращения 21.05.24)

11. Tensorflow документация. href = <https://www.tensorflow.org/guide/keras?hl=ru> (Дата обращения 21.05.24).

Сингх Сани, аспирант Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская 68, 347900, телефон: +7 (988) 575-13-50, email: singkh@sfedu.ru.

Прибыльский Алексей Васильевич, доцент Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, телефон +7 988 561-97-18, email: apribylsky@sfedu.ru.

Singh Sanni, post-graduate student of Southern Federal University, 347900, Russia, city Taganrog, 68 Petrovskaya street, phone: +7 (988) 575-13-50, email: singkh@sfedu.ru.

Pribylsky Alexey Vasilievich, docent of Southern Federal University, Russia, city Taganrog, phone: +7 (988) 561-97-18, email: apribylsky@sfedu.ru.

УДК 004.42+004.3

УДК 57.08+615.47+615.8

Проскуряков Александр Викторович,
Проскуряков Алексей Александрович

РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ ВЕРИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ВРАЧА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ

В данной статье описаны информационное и программное обеспечение реализации методической поддержки процесса обучения различным способам верификации состояния фрагментов медицинских объектов по рентгеновским и компьютерно-томографическим изображениям для автоматизированного рабочего места врача с целью принятия решения при диагностики заболевания. Описан программно-аппаратный модуль, реализующий базовый и демонстрационные режимы работы, функционирующий с использованием основных способов и методов, лежащих в основе верификации по рентгеновским компьютерно-томографическим изображениям. Это позволяет реализовать методическую поддержку процесса обучения различным способам верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям, более быстро сформировать навыки, повысить оперативность, точность верификации состояния медицинских биологических объектов, достоверность процесса диагностики заболеваний. Показана научная новизна, результаты апробации материала, представленного в статье на международных, всероссийских конференциях, научных журналах.

Автоматизация, автоматизированное рабочее место, биологический, верификация, верификации, диагностика, информация, медицинский, метод, метод эталонный, подсистема, программно - аппаратный модуль, процесс, система, снимок, статистика, рентгенография, решение, томография, эталон.

Proskuryakov Alexander Viktorovich, Proskuryakov Alexey Alexandrovich

IMPLEMENTATION OF METHODOLOGICAL SUPPORT FOR THE LEARNING PROCESS OF VERIFYING THE CONDITION OF MEDICAL FACILITIES FOR THE AUTOMATED WORKPLACE OF A DOCTOR OF A MEDICAL INFORMATION SYSTEM FOR THE DIAGNOSIS OF DISEASES

This article describes information and software for the implementation of methodological support for the learning process of various methods of verifying the condition of fragments of medical objects using X-ray and computed tomography images for an automated doctor's workplace in order to make a decision when diagnosing a disease. A hardware and software module is described that implements basic and demonstration modes of operation, functioning using the main methods and methods underlying verification using X-ray computed tomography images. This makes it possible to implement methodological support for the learning process of various methods of verifying the state of fragments of biological objects using computed tomographic images, more quickly form skills, increase efficiency, accuracy of verification of the state of medical biological objects, reliability of the disease diagnosis process. The scientific novelty and the results of the approbation of the material presented in the article at international and All-Russian conferences and scientific journals are shown.

Automation, automated workplace, biological, verification, verifications, diagnostics, information, medical, method, reference method, subsystem, hardware and software module, process, system, snapshot, statistics, radiography, solution, tomography, standard.

Введение

В данной статье рассматриваются программное и информационное обеспечение реализации методической поддержки процесса обучения различным способам верификации состояния фрагментов биологических объектов по рентгеновским и компьютерно-томографическим изображениям автоматизированным рабочим местом врача (АРМ-врача) для диагностики заболевания. Технологии, предлагаемые и используемые для методической

поддержки процесса обучения различным способам верификации состояния фрагментов биологических объектов по рентгеновским и компьютерно-томографическим изображениям АРМ-врача для диагностики заболевания, ориентированы на реализацию автоматизации данного процесса. Следует отметить, что современный этап развития медицины характеризуется развитием и внедрением новых методов, способов диагностики, позволяющих повысить своевременность, точность и достоверность диагностических мероприятий в различных областях и направлениях медицины. Фактически в медицине всё большее значение получают методы, способы, средства ранней диагностики заболеваний, что позволяет выявить заболевание на ранних стадиях и тем самым предотвратить или приступить к её лечению на ранних этапах развития. Развитие информационных технологий и современных средств телекоммуникаций, появление в клиниках большого количества медицинских приборов, отдельных компьютеров привели к новому витку автоматизации процессов обработки информации, а также к значительному росту числа медицинских информационных систем лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ), клиник [1,2,3].

Таким образом, в современных условиях развития акцент делается на диагностические направления медицины, методы и способы ранней диагностики, а также медицинские автоматизированные диагностические информационные системы.

Выходом в создавшейся ситуации является, разработка средств и методов автоматизации процесса диагностики и лечения на базе передовых технологий с повсеместным внедрением медицинских информационных систем (МИС), медицинских автоматизированных информационных систем (МАИС), медицинских автоматизированных диагностических информационных систем (МАДИС) на базе комплекса технических средств (КТС) вычислительной техники (ВТ), комплекса программных средств (КПС) системных и инструментальных, сетевых технологий и вычислительных сетей, новых информационных технологий в целом, при реализации модели развития отечественного производства технологического оборудования и медицинских изделий с учётом поддержки государства, позволяющих своевременно, оперативно осуществлять диагностику, лечение, сопровождение пациентов в клиниках и стационарах[4].

Специалисты, решающие задачи диагностики отмечают, что в области ЛОР и других заболеваний, необходимо констатировать наличие в практике диагностики посредством верификации состояния фрагментов

медицинских биологических объектов, на примере лобных и верхнечелюстных пазух, бронхо-лёгочных заболеваний следующей технологической последовательной цепочки, которая включает: «рентгенологическое изображение» диагностируемого объекта – заключение рентгенолога – врача клинициста, заказавшего диагностическое исследование», результатом которой является принятие решения по хирургическому или медикаментозному воздействию на пациента[2]. Недостатком, как показывает опыт специалистов в области ЛОР – заболеваний, бронхо-лёгочных заболеваний и других[3], является:

— недостаточная эффективность диагностики в соответствии вышеупомянутой технологической диагностической цепочкой, которая составляет порядка 70%;

— недостаточно высокий уровень квалификации вследствие отсутствия опыта, врачей при диагностике тех или иных заболеваний.

Столь низкий уровень достоверности объясняется интуитивным качественным анализом рентгенографического изображения как рентгенологом, так и клиницистом. С целью максимального исключения ошибочных решений при диагностировании состояний лобных и верхнечелюстных пазух, заболеваний лёгких и бронхов пациентов предлагается аппаратное, программное и информационное обеспечение реализации методической поддержки процесса обучения различным способам верификации состояния фрагментов биологических объектов по рентгеновским и компьютерно-томографическим изображениям автоматизированным рабочим местом врача (АРМ-врача) для диагностики заболевания, путём автоматического цифрового распознавание и идентификации рентгенографических изображений в пленочном, электронном и компьютерно - томографическом представлении[5].

Постановка задачи. В данной работе рассматривается подход решения задачи для наиболее быстрого и эффективного освоения процесса автоматизированного и автоматического цифрового распознавание и идентификацию рентгенографических изображений в пленочном, электронном и компьютерно - томографическом представлении с помощью предлагаемого программно-аппаратного модуля, который позволяет реализовать методическую поддержку процесса обучения различным способам верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно - томографическим изображениям, более быстро сформировать навыки, повысить оперативность, точность верификации состояния медицинских

биологических объектов, достоверность процесса диагностики заболеваний.

Реализация. Описание программно-аппаратного модуля для диагностики. Данный программно-аппаратный модуль предназначен для обработки информации по рентгенографическим снимкам лобных и верхнечелюстных пазух с целью оказания помощи врачу отоларингологу в процессе диагностики состояния пациентов в области ЛОР заболеваний.

В основе работы данного комплекса при решении задач диагностики лежит эталонный метод (способ) диагностики. Данный метод заключается в сравнении эталона и исследуемого объекта на основании рентгенографического снимка пациента. В качестве эталона на рентгенографическом снимке принимается левая или правая глазница в зависимости от анализируемого объекта: левой или правой лобных и верхнечелюстных пазух. Для получения более полного представления о данном программно-аппаратном диагностическом модуле АРМ-врача необходимо, чтобы пользователи имели представление о его составе. Состав АРМ -врача включает:

- аппаратную часть, которая включает персональный компьютер (ноутбук, нетбук, периферийные устройства и т.д.);
- программную часть, которая включает в свой состав программный модуль, позволяющий непосредственно обрабатывать информацию по диагностике заболеваний пациентов.

Современная МИС, обеспечивающая получение, хранение, обработку, выдачу диагностической информации должна:

- 1) включать в свой состав автоматизированные рабочие места (АРМ) врачей клиницистов;
- 2) строиться по принципу интеграции отдельных подсистем в единую целую систему;
- 3) каждая подсистема удовлетворять модульному принципу построения, развития и подключения – интеграции в систему на уровне комплекса технических средств (КТС);
- 4) удовлетворять модульному принципу построения на уровне комплекса программных средств (КПС);
- 5) поддерживать управление и работу сервисных служб системы;
- 6) в качестве инфраструктуры построения данной системы использовать сети, вычислительные сети Intranet / Internet, позволяющие осуществлять оперативный обмен информацией между основными компонентами

системы, независимо от местоположения пациента и диагностической аппаратуры;

7) формировать и выдавать оперативные и достоверные результаты диагностики.

Алгоритм работы программно-аппаратного модуля АРМ-врача по реализации методической поддержки обучения процесса верификации фрагментов медицинских биологических объектов. Для начала работы АРМ -врача необходимо включить всё оборудование, тем самым подготовить его для запуска программного диагностического модуля.

После запуска программы на экране появляется стартовое диалоговое окно - «Окно запуска». Диалоговое окно - «Окно запуска» показано на рисунке1. В данном окне пользователю предоставляется возможность выбора режима для дальнейшего использования и функционирования программы.

1.Режим работы «Запуск программы».

Режим «Запуск программы» осуществляется путём инициализации с помощью манипулятора «мышь» кнопки «Запуск программы», переводит программное обеспечение (программу, приложение) в стандартный режим обработки рентгенографических снимков, где доступны:

- 1) обработка снимка;
- 2) может быть показана полная информация;
- 3) информация и анализ выделенных областей.

Все изменения и полученная статистика сохраняются в базе данных.

2.Режим работы «Демонстрационный режим».

Режим работы «Демонстрационный режим» осуществляется путём инициализации с помощью манипулятора «мышь» кнопки «Демонстрационный режим», при этом запускается приложение с ограничением большинства возможностей, но которое позволяет провести пример базового анализа выбранного снимка без сохранения результатов.

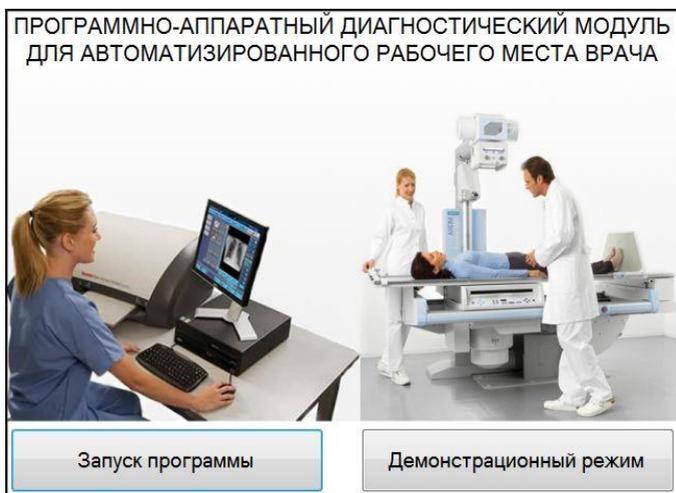


Рис. 1. Окно запуска

3. Описание работы программно-аппаратного модуля АРМ -врача. «Демонстрационный режим».

Для более лучшего понимания работы программного и информационного обеспечения программно-аппаратного модуля приобретения навыков работы в его составе предусмотрен «Демонстрационный режим». При запуске программы в демонстрационном режиме открывается окно «Демонстрационный режим» с ограниченными настройками.

Диалоговое окно экранной формы «Демонстрационный режим» с ограниченными настройками показано на рис. 2.

Для начала работы программы требуется выбрать рентгеновский или компьютерно-томографический снимок. Это можно сделать используя готовые образцы, нажав на кнопку «Использовать образец», либо загрузить любой другой снимок кнопкой «Выбрать снимок».

Диалоговое окно экранной формы с готовыми образцами показано на рис. 3.

После выбора снимка требуется выделить сегмент на рентгеновском изображении в качестве эталона. После чего будут отображены графики с его характеристиками и сама область красным цветом.

Диалоговое окно выбор эталонного сегмента показано на рис. 4. Для продолжения работы следует нажать на кнопку «Продолжить» для дальнейшей работы.

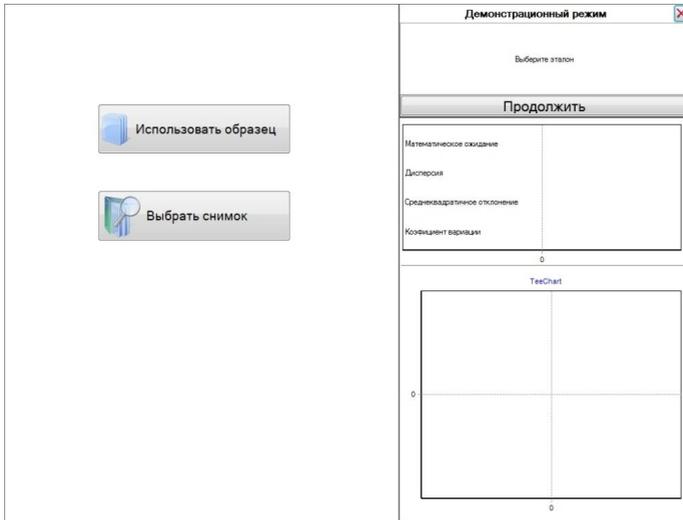


Рис. 2. Демонстрационный режим

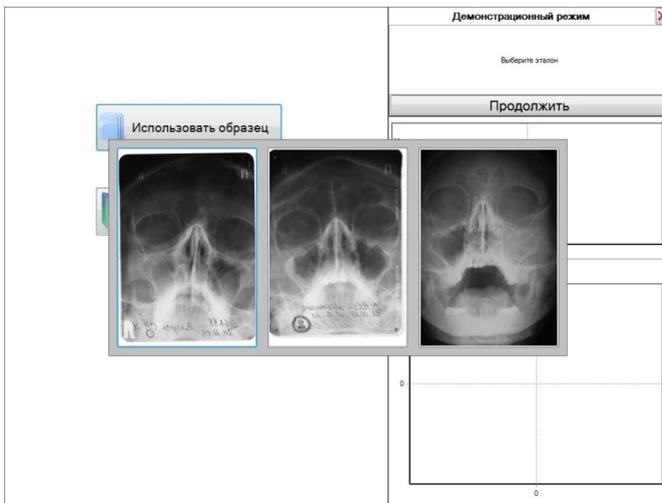


Рис. 3. Демонстрационный режим. Использовать образец

Далее следует выбрать сегмент для сравнения с эталоном, контур которого отобразится на снимке, и будут построены графики для визуального сравнения в виде результата работы демонстрационного режима. Окно сравнения с эталоном сегмента показано на рис. 5. Область исследуемого

объекта и его эталон представляем матрицами интенсивности яркости пикселей.

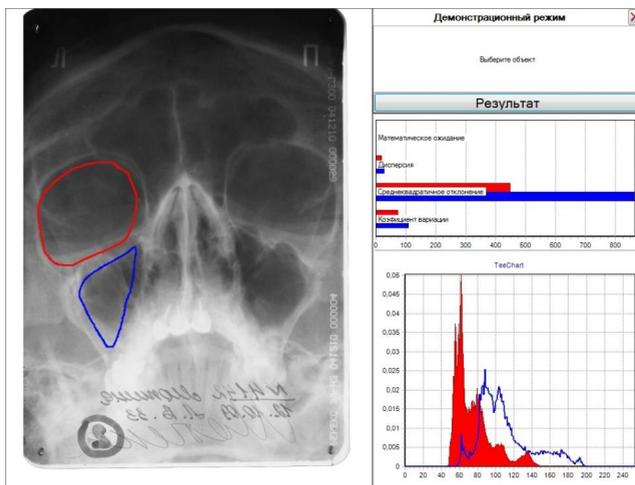


Рис. 5. Выбор объекта сравнения

Научная новизна. Результаты. Научная новизна заключается в разработке методологии верификации состояния фрагментов медицинских биологических объектов по рентгеновским и компьютерно-томографическим изображениям и использовании для этого статистических параметров (математическое ожидание, дисперсия, гистограмма, коэффициент вариации, автокорреляционная матрица, коэффициент корреляции) для количественной оценки состояний лобных или верхнечелюстных пазух и их идентификации в соответствии с классом патологий при диагностике пациента в автоматизированном и автоматическом режиме по рентгенографическим (томографическим) изображениям с целью обеспечение реализации методической поддержки процесса обучения различным способам верификации состояния фрагментов биологических объектов по рентгеновским и компьютерно-томографическим изображениям автоматизированным рабочим местом врача (АРМ-врача) для диагностики заболевания. Это позволило получить следующие результаты:

1) разработано программное обеспечение программно-аппаратного модуля АРМ-врача МИС, реализующее алгоритм обработки рентгенографических изображений с использованием эталонного способа метода диагностики лобных или верхнечелюстных пазух при ЛОР-заболеваниях[2,5,6,7];

2) это позволило реализовать методическую поддержку процесса обучения различным способам верификации состояния фрагментов биологических объектов по рентгеновским и компьютерно-томографическим изображениям, более быстро сформировать навыки, повысить оперативность, точность верификации состояния медицинских биологических объектов, достоверность процесса диагностики заболеваний, повысить качество обработки рентгенографических снимков и как следствие точность диагностики заболеваний[6,7,8,9];

3) разработанное программное обеспечение позволило повысить степень автоматизации процесса обработки рентгенографических снимков с элементами автоматической обработки, что позволяет формализовать процедуру постановки диагноза[10,11].;

4) разработано программное обеспечение реализующее алгоритмы обработки статистических параметров (гистограмма, математическое ожидание, коэффициент вариации) для количественной оценки состояний лобной или верхнечелюстной пазухи и их идентификации в соответствии с классом патологий при диагностике пациента в автоматизированном и автоматическом режиме по рентгенографическим и томографическим изображениям[7,10,11,12];

5) разработано информационное обеспечение - структура базы данных в виде набора связанных таблиц для хранения базовой информации о пациентах и процессе диагностики и лечения[8,9,10,11,12];

6) информационное обеспечение реализовано с возможностью инвариантности хранимой информации и моделей методов (способов) диагностики с целью возможности адаптации для различных лечебных учреждений[9,10,11,12];

7) результаты исследований, представленные в данной работе прошли апробацию на десяти международных и семнадцати Всероссийских научно технических конференциях, опубликованы в научно-технических журналах, входящих в перечень ВАК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Блинов Н.Н., Мазуров А.И.* Что впереди? // Мед. Техника. -2006 г., N5, с.3-6.
2. *Блинов Н.Н., Мазуров А.И.* Проблемы расширения диагностических возможностей медицинской рентгенотехники // Мед. Техника. -2011 г., N5, с.1-5.
3. *Волков А.Г., Самойленко А.П., Проскуряков А.В.* Метод диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим изображениям. –Х

Международную научно-техническую конференцию «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2012) 2012, 63-67 с.

4. *Гусев А.В.* Медицинские информационные системы : Монография / А.В.Гусев, Ф.А.Романов, И.П.Дуданов, А.В.Воронин; Петр.ГУ.- Петрозаводск, 2005.- 404 с.

5. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* АРМ поддержки принятия решений при диагностике ЛОР-заболеваний медицинской интегрированной автоматизированной информационной диагностической системы. – Сборник трудов XI Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2014) 2014, С. 68-72.

6. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Подсистема математического и программного обеспечения поддержки принятия решений на базе способов диагностики заболеваний по рентгеновским снимкам «Медицинской автоматизированной диагностической информационной системы» Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». 2015. № 1 С.34-43 ISSN 1561-1531.

7. *Проскуряков А.В.* Реализация способов диагностики заболеваний в медицинской автоматизированной информационной системе поддержки принятия решений. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2016) 2016, С.303-307.

8. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Методология верификации состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2018) 2018, С.209-212.

9. *Проскуряков А.В.* Верификация состояния фрагментов биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям. Ростов, Таганрог: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко «КомТех-2019», С.169 -175.

10. *Проскуряков А.В.* Медицинская автоматизированная информационная система поддержки принятия решения для диагностики заболеваний с использованием верификации состояния фрагментов медико-биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям // Информатизация и связь. -2020 г., N3, с.55-60.

11. *Проскуряков А.В.* Автоматизация процесса верификации состояния фрагментов медицинских биологических объектов подсистемой поддержки

принятия решений для диагностики заболеваний // «Информатизация и связь». 2021. № 8 С.85-90 doi 10.34219/2078-8320-2020-11-3-55-60 ISSN 2078-8320.

12. *Проскуряков А.В.* Синтез программного и информационного обеспечения реализации методов верификации состояния медицинских биологических объектов для медицинской автоматизированной информационной системы //«Известия ЮФУ». 2022. № 2 С.199-212 doi 10.18522/2911-3103-2022-2-199-212 ISSN 1999-9429.

Проскуряков Александр Викторович, старший преподаватель кафедры Математического обеспечения и применения ЭВМ, Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Энгельса,1 347900, телефон: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfedu.ru.

Проскуряков Алексей Александрович, студент группы КТ603-4 кафедры Систем автоматизированного проектирования, Южного федерального университета, Россия, г.Таганрог, улица Розы Люксембург, 44, кв.65 3479000, телефон: +7(952) 417-64-70, email:proskuriakov@sfedu.ru.

Proskuryakov Alexander Victorovich, senior lecturer, Department of Mathematical support and computer application, southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels street,1 347900, phone: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfedu.ru.

Proskuryakov Alexey Alexandrovich, student of the Msw group 3-4 of the Department of Computer-aided Design Systems, Southern Federal University, 44 Rosa Luxemburg Street, 65 3479000, Taganrog, Russia, phone: +7(952) 417-64-70, email:proskuriakov@sfedu.ru .

УДК 004.42+004.3

УДК 57.08+615.47+615.8

Проскуряков Александр Викторович

ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ «УМНОГО» МЕДИЦИНСКОГО ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

В данной статье рассматривается реализации подхода к концепции построения «Умного» медицинского лечебно-профилактического учреждения на базе использования современных информационных технологий для автоматиза-

ции диагностики заболеваний. В статье акцент сделан на анализ, предметной области и современные технологии, которые могут лежать в основе построения «Умных» медицинских лечебно-профилактических учреждений. Показан пример прикладной, практической реализации концепции построения «Умного» медицинского лечебно-профилактического учреждения Показана научная и прикладная новизна, результаты апробации материала, представленного в статье на международных, всероссийских конференциях, научных журналах.

Биологический, верификация, диагностика, изображение, интеллектуальный, информация, лечебный, медицинский, метод, подсистема, подход, профилактический, система, способ, статистика, рентгенография, томография, умный, фрагмент, цифровой.

Proskuryakov Alexander Viktorovich

AN APPROACH TO THE IMPLEMENTATION OF THE CONCEPT OF BUILDING A "SMART" MEDICAL TREATMENT AND PREVENTIVE INSTITUTION

This article discusses the implementation of an approach to the concept of building a "smart" medical treatment and prevention facility based on the use of modern information technologies to automate the diagnosis of diseases. The article focuses on the analysis of the subject area and modern technologies that can underlie the construction of "Smart" medical treatment and preventive institutions. An example of the applied, practical implementation of the concept of building a "Smart" medical treatment and preventive institution is shown. Scientific and applied novelty, the results of approbation of the material presented in the article at international, All-Russian conferences, scientific journals are shown.

Biological, verification, diagnostics, image, intelligent, information, therapeutic, medical, method, subsystem, approach, preventive, system, method, statistics, radiography, tomography, smart, fragment, digital.

Введение. В настоящей статье рассматривается подход к концепции построения «Умного» медицинского лечебно-профилактического учреждения на базе **использования современных аппаратных и информационных технологий для автоматизации диагностики заболеваний.** Необходимо отметить, что современный этап развития медицины характеризуется развитием и внедрением новых методов, способов диагностики, позволяющих повысить своевременность, точность и достоверность диа-

гностических мероприятий в различных областях и направлениях медицины. Фактически в медицине всё большее значение получают методы, способы, средства ранней диагностики заболеваний, что позволяет выявить заболевание на ранних стадиях и тем самым предотвратить или приступить к её лечению на ранних этапах развития. Развитие информационных технологий и современных средств телекоммуникаций, появление в клиниках большого количества медицинских приборов, отдельных компьютеров привели к новому витку автоматизации процессов обработки информации, а также к значительному росту числа медицинских информационных систем лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ), клиник [1,2,3].

Следует отметить то, что рассмотрение и решение данных задач было невозможно без информатизации медицины и здравоохранения в целом, которое в мире идет уже в течение нескольких десятилетий. Можно выделить следующие этапы информатизации медицины.

1. Информатизация начиналась с поддержки отдельных врачебных решений.

2. Далее произошло изменение направления на автоматизацию управленческих процессов.

3. Произошёл возврат к дифференцированным информационным системам по отдельным клиническим направлениям и по проблемам, которые обеспечивали поддержку и реализацию различных бизнес-процессов.

4. В дальнейшем медицинские информационные системы (МИС, в английском варианте наиболее близко HIS – информационные системы здравоохранения), обеспечивающие традиционную информатизацию и компьютеризацию процессов медицинской организации, начали трансформироваться в гибридные МИС, включающие модули поддержки принятия решений, реализованные различными способами.

Следовательно решением задачи, поставленной в данной статье является, разработка средств и методов диагностики и лечения на базе передовых технологий с повсеместным внедрением МИС, МАИС, МАДИС на базе комплекса технических средств (КТС) вычислительной техники (ВТ), комплекса программных средств (КПС) системных и инструментальных, сетевых технологий и вычислительных сетей, новых информационных технологий в целом, позволяющих своевременно, оперативно осуществлять диагностику, лечение, сопровождение пациентов в клиниках и стационарах [4,5,6].

Постановка задачи. Данная работа ориентирована на рассмотрение и реализацию одного из подходов к концепции построения «Умного» медицинского лечебно-профилактического учреждения на базе информатизации, компьютеризации, современных IT-технологий для решения задач автоматизации процесса диагностики заболеваний.

Анализ предметной области. В настоящее время существует и широко используется ряд терминов, соответствующих понятию «Умного» медицинского лечебно-профилактического учреждения (МЛПУ), или как вариант «Умной» больницы. Различие этих терминов не скрывает общих принципов, лежащих в основе создания «Умных» больниц. Эти различия связаны с выделением различных аспектов и упором на те или иные функции. Рассмотрим основные термины, которые предлагаются к использованию понятия «Умного» (МЛПУ), предлагаемы в формулировках отечественных зарубежных специалистов.

Термин Intelligent hospital – интеллектуальный госпиталь (больница) предполагает использование следующих понятий и реализуемые функции:

- интеллектуальный анализ и мониторинг данных процессов и запросов;
- виртуальное сотрудничество;
- различные мобильные и переносные устройства для просмотра, передачи и получения важной информации;
- поддержка клинических решений и создание безопасной и комфортной среды для пациентов и работы персонала, [9].

Примечание. Однако в настоящее время широкое использование этого термина невозможно, так как Intelligent Hospital™ зарегистрирован как товарный знак

Термин Digital hospital – цифровой госпиталь (больница) предполагает использование следующих понятий и реализуемые функции:

- комплекс или своего рода экосистема аппаратных средств и программного обеспечения;
- взаимосвязанных решений на основе функционирования многочисленных и разнообразных бизнес-процессов и консалтинговых услуг в качестве основы для цифровой трансформации медицинской помощи [10];
- сетевая интеграция процессов, что позволяет объединить больных, врачей, вспомогательный персонал, информационные потоки и материальные ценности больницы, предоставляя требующиеся данные и ресурсы в

нужное время к нужному месту с учетом потребностей оказания медицинской помощи конкретному пациенту

Термин Smart hospital – умный госпиталь (больница) предполагает использование следующих понятий и реализуемые функции:

– это интерактивная среда многообразных электронных вычислительных устройств для решения контекстно-зависимых задач медицинской помощи в физико-цифровой экосистеме больницы;

– оптимизированные медицинские процессы, основанные на информационно-компьютерных технологиях и на внедрении понятия «Интернет вещей»;

– ориентированы на создание новых возможностей для пациентов в процессе их пребывания в стационаре [7,8,9].

Приведём определения основных понятий, которые используются при рассмотрении концепции построения «Умного» медицинского лечебно-профилактического учреждения (МЛПУ).

Определение 1. Smart Clinic (умная больница) – это медицинское учреждение, спроектированное, построенное и эксплуатирующееся с учетом самых современных строительных и IT-технологий, использование которых позволяет сократить стоимость владения, уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и улучшить качество медицинских услуг.

Определение 2. IoT (Internet of Things, Интернет вещей) – технология, позволяющая или подразумевающая возможность подключения к локальной и глобальной сетям передачи данных устройств, изначально не являвшихся IT-оборудованием.

Определение 3. Big Data (большие данные) – термин, принятый для описания современных объемов информации, связанных с цифровым обществом, цифровой экономикой. Термин «большие данные» характеризует совокупности данных с возможным экспоненциальным ростом, которые слишком велики, слишком неформатированы или слишком неструктурированы для анализа традиционными методами.

Пример реализации концепции построения «Умного» медицинского лечебно-профилактического учреждения

В процессе реализации концепции построения «Умного» МЛПУ необходимо отметить, что базовым структурно-физическим и информационно-логическим компонентом является МИС. При этом при проектировании реализации должны быть четко обозначены

функциональная и обеспечивающая составляющие проектируемой МИС. Тем самым синтезируемая МИС обеспечивает сбор, получение, хранение, обработку, выдачу диагностической информации[10,11,12].

Обеспечивающая составляющая должна в обязательном порядке включать следующие подсистемы:

1) подсистему технического обеспечения, включающую базовые компоненты комплекса технических средств (КТС) системы, в том числе локальной вычислительной сети (ЛВС) типа Intranet медицинского учреждения: больница, поликлиника с возможностью подключения к информационно - медицинским ресурсам других медицинских учреждений посредством Internet;

2) подсистему математического обеспечения, описывающую алгоритм процедуры диагностики на основании предложенных методов и методик;

3) подсистему программного обеспечения, реализующую практически алгоритм процедуры диагностики на основании предложенных методов;

4) подсистему информационного обеспечения, содержащего необходимую исходную информацию для диагностики заболеваний и статистическую информацию о результатах диагностики, личная информация, дневник пациента и т.д;

5) подсистему организационного обеспечения;

6) подсистему информационной безопасности;

7) подсистему методического обеспечения и поддержки, а также другие вспомогательные подсистемы[10].

МИС в целом и её подсистемы на базе предлагаемой концепции должны строиться исходя из основных требований системного подхода, предъявляемых к системам данного вида:

1) удовлетворять требованиям кроссплатформенности;

2) удовлетворять требованиям инвариантности к решаемым системой задачам (по возможности);

3) удовлетворять требованиям модульности построения комплекса технических средств (КТС);

4) удовлетворять требованиям модульности построения комплекса программных средств (КПС);

5) иметь возможность интегрировать систему в современные вычислительные сети Intranet/Internet на уровне отдельных компонентов, модулей, подсистем и системы в целом;

6) иметь возможность оперативного доступа к информационным ресурсам МИС со стационарных и мобильных рабочих станций, терминалов и других современных терминальных средств доступа;

7) иметь реализацию адаптивного к пользователю МИС интуитивно-понятного интерфейса, позволяющего пользователям упростить процедуру доступа к информационно-вычислительным ресурсам системы и сделать её более прозрачной;

8) в целом основные функциональные возможности МИС должны удовлетворять требованиям базового критерия качества, включающего функциональные и конструктивные критерии, на основании базовых характеристик и показателей, по которым оценивается качество функционирования КПС и системы в целом: гибкость, модульность, надежность, тестируемость, полнота, способность к взаимодействию, модифицируемость и т.д.

На рис. 1 приведена классификационная схема предназначения МИС, ЛПУ.



Рис. 1. Классификационная схема МИС

На рис. 2 приведена классификационная схема МИС, согласно которой в качестве МИС могут использоваться консультативно-диагностические информационные системы (КДИС), приборно-компьютерные информационные системы (ПКИС).



Рис. 2. Классификационная схема МИС

Выводы. Задачи решаемы в рамках реализации концепции построения «Умного» МЛПУ, заключается в анализе диагностических процедур с применением технологий реализации автоматизации диагностики заболеваний, заключающимися в синтезе алгоритмов реализуемых программным и информационным обеспечением медицинской информационной системы при реализации, применении методов верификации состояния фрагментов медицинских биологических объектов по рентгенографическим и компьютерно-томографическим изображениям для диагностики заболеваний и использовании для этого статистических параметров (математическое ожидание, дисперсия, гистограмма, коэффициент вариации, коэффициент корреляции) для количественной оценки состояний лобной или верхнечелюстной пазухи и их идентификации в соответствии с классом патологий при диагностике

пациента в автоматическом режиме по рентгенографическим (томографическим) изображениям[10,11,12].

Научная новизна. Результаты. Научная и прикладная новизна заключается в следующем.

- «Умное» МЛПУ ближайшего будущего может быть определена как:
 - интерактивная интеллектуальная цифровая среда;
 - должно представлять собой метасистему;
 - метасистему на основе on-line мониторинга жизненно важных функций в сочетании с оперативным доступом персонала и больных к информации при широком использовании мобильных приложений и робототехники;
 - замкнутая цепь обмена данными между умными устройствами;
 - замкнутая цепь обмена данными между умной больницей и аналитикой больших данных;
 - позволит дать пациентам диагностику здоровья в реальном времени;
 - анализ тенденций в анамнезе и предикативные назначения врачам;
 - улучшение микроклимата и ускорение выздоровления больных в больницах, или ЛПУ.

Результаты исследований, представленные в данной работе прошли апробацию на международных и Всероссийских научно технических конференциях, опубликованы в научно-технических журналах, входящих в перечень ВАК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков А.Г., Самойленко А.П., Проскуряков А.В. Метод диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим изображениям. – X Международную научно-техническую конференцию «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2012) 2012, 63-67 с.

2. Самойленко А.П., Проскуряков А.В. Способы реализации метода диагностики состояния параназальных пазух по их рентгенографическим изображениям. – Сборник трудов XI Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2014) 2014, С.71-75.

3. Проскуряков А.В., Самойленко А.П. АРМ поддержки принятия решений при диагностике ЛОР-заболеваний медицинской интегрированной автоматизированной информационной диагностической системы.– Сборник трудов XI

Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2014) 2014, С. 68-72.

4. *Проскуряков А.В., Самойленко А.П.* Подсистема математического и программного обеспечения поддержки принятия решений на базе способов диагностики заболеваний по рентгеновским снимкам «Медицинской автоматизированной диагностической информационной системы» Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». 2015. № 1 С.34-43 ISSN 1561-1531.

5. *Проскуряков А.В., Смеречинский Д.В.* Информационное обеспечение интегрированной автоматизированной системы обработки данных результатов обследования в медицинском учреждении " Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». 2015. № 2 С.30-39 ISSN 1561-1531.

6. *Проскуряков А.В.* Реализация способов диагностики заболеваний в медицинской автоматизированной информационной системе поддержки принятия решений. Владимир, Суздаль: Сборник трудов XII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2016) 2016, С.303-307.

7. *Frisch P.* What is an intelligent hospital? // IEEE Pulse. 2014. Vol.5. P.10-15.

8. *Borden S.* Digital hospital // MIT Technology Review. 2001. (URL: <https://www.technologyreview.com/s/401089/digital-hospital/>)

9. *Holzinger A., Rocker C., Ziefle M.* From smart health to smart hospitals // Smart Health: Open Problems and Future Challenges / A. Holzinger, Rocker C., Ziefle M. (Eds.). Cham: Springer International Publishing Switzerland. 2015. P.1–20.

10. *Проскуряков А.В.* Медицинская автоматизированная информационная система поддержки принятия решения для диагностики заболеваний с использованием верификации состояния фрагментов медико-биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям // Информатизация и связь. - 2020 г., N3, с.55-60.

11. *Проскуряков А.В.* Информационное и программное обеспечение реализации методов верификации состояния фрагментов медицинских биологических объектов по компьютерно-томографическим изображениям подсистемой принятия решений для диагностики заболеваний. Материалы X Международной научно-технической конференции «ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ» (ТРИС-2020), (05-10 октября 2020 г.) – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. – С 175-181

12. *Проскуряков А.В.* Синтез программного и информационного обеспечения реализации методов верификации состояния медицинских биологических объектов для медицинской автоматизированной информационной системы

Проскуряков Александр Викторович, старший преподаватель кафедры Математического обеспечения и применения ЭВМ, Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, улица Энгельса,1 347900, телефон: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfnedu.ru.

Proskuryakov Alexander Victorovich, senior lecturer, Department of Mathematical support and computer application, southern Federal University, Russia, Taganrog, Engels street,1 347900, phone: +7(8634) 37-16-73, email: avproskuryakov@sfnedu.ru.

УДК 004.032.26

Прудников Артем Александрович, Поленов Максим Юрьевич

НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДУЛЬ РАСПОЗНАВАНИЯ И СОРТИРОВКИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Одной из актуальных задач в настоящее время является проблема сбора, сортировки и переработки бытовых отходов. Решение данной проблемы важно не только с экологической и научно-технической стороны, но также и в информационном аспекте. Многие страны обеспокоены этим вопросом и пытаются найти решение по эффективной организации сортировки и переработки отходов для их последующего вторичного использования.

В данной работе рассматривается подход к организации процесса сортировки бытовых отходов на предприятии, направленный на повышение эффективности классификации отходов с использованием автоматизированных технологий. Данный подход основан на использовании нейросетевого модуля распознавания архитектуры YOLOv4 и алгоритма SORT для отслеживания объектов. Результаты тестирования модуля показывают целесообразность предложенного подхода для организации автоматизированной классификации бытовых отходов.

Нейросетевой модуль, распознавание объектов, классификация и сортировка отходов.

Prudnikov Artyom Alexandrovich, Maxim Yuryevich Polenov

NEURAL NETWORK MODULE FOR RECOGNIZING AND SORTING OF HOUSEHOLD WASTE

One of the urgent tasks at present is the problem of collection, sorting and recycling of household waste. Solving this problem is important not only from the environmental, scientific and technical side, but also from the information aspect. Many countries are concerned about this issue and are trying to find a solution for the effective organization of waste sorting and recycling for their subsequent recycling.

This paper considers an approach to organizing the process of sorting household waste at an enterprise aimed at improving the efficiency of waste classification using automated technologies. This approach is based on the use of the YOLOv4 neural network recognition module and the SORT algorithm for tracking objects. The test results of the module show the suitability of the proposed approach for the organization of automated classification of household waste.

Neural network module, object recognition, waste classification and sorting.

Введение

Бытовые отходы, возникающие в результате человеческой деятельности, характеризуются разнообразным морфологическим составом, включающим бумагу, пластик и металл. Эти отходы могут быть разделены и повторно использованы, однако во многих регионах страны отсутствуют специализированные предприятия для их сортировки и переработки. Решение этой проблемы будет способствовать улучшению экологической ситуации, поскольку объемы бытовых отходов постоянно увеличиваются.

С каждым годом состав отходов становится всё сложнее, включая в себя больше экологически опасных элементов. Управление отходами усложняется, а стоимость утилизации отходов растёт.

В то же время активно разрабатываются новые технологии утилизации, включая современные системы разделения и использование отходов в качестве вторичного сырья. Далее рассмотрим подход к организации процесса сортировки бытовых отходов на основе нейросетевого модуля распознавания.

Предлагаемый подход

В результате проведенного сравнительного анализа методов и средств [1-3] для решения поставленной задачи разработки автоматизированной системы распознавания и сортировки бытовых отходов, было предложено

использование нейросетевого подхода с разработкой нейросетевого модуля распознавания на основе архитектуры YOLOv4 и алгоритма SORT для обнаружения и классификации объектов. Данная архитектура и алгоритм позволяют повысить производительность и эффективность системы распознавания и классификации отходов в режиме реального времени.

Система распознавания изображений

Рассмотрим реализацию предложенного подхода. Как известно, цифровое изображение состоит из пикселей. В RGB изображении каждый пиксель имеет 3 слоя, а именно красный, синий, зеленый, но также есть особенность с оттенками серого цвета, они в свою очередь имеют двумерную матрицу, где у каждого пикселя есть свой номер в зависимости от его уровня затемнения. В этом случае самый темный пиксель будет иметь значение равно нулю, а самый яркий пиксель будет 255. Пример такого представления приведен на рис. 1.

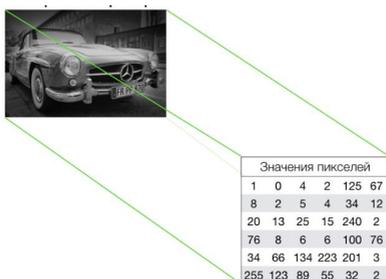


Рис. 1. Представление изображения в виде матрицы

Перед тем как распределить используемые наборы данных на обучающие и тестирующие, мы должны убедиться, что данные достаточно хорошо подготовлены. Для того чтобы использовать алгоритм CNN (Convolution Neural Network) необходимо задать параметры входных данных до стандартных, а именно привести их к значению $32 \times 32 \times 3$, то есть размерность изображения должна соответствовать приведенным параметрам. Эта размерность предполагает, что использованное изображение 32×32 с тремя каналами и определёнными параметрами может использоваться с ML-алгоритмом машинного обучения. В качестве последнего используется метод опорных векторов SVM (Support Vector Machines), который способен обрабатывать изображения любого размера, но загружаемые изображения должны быть идентичными.

Алгоритм представляет собой традиционную нейронную сеть, добавляемую в конце слоев CNN. На рис. 2 показано визуальное представление полностью связанных слоев нейронной сети.

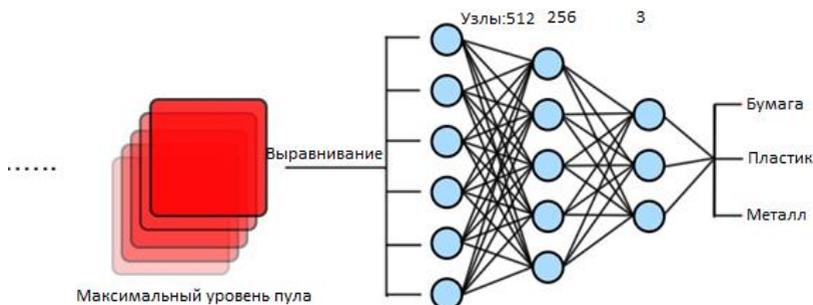


Рис. 2. Выравнивание выходных данных

Вместо использования менее эффективного процесса выполнения расчета для всего набора данных, можно использовать градиентный спуск SGD (Stochastic gradient descent), так как он выполняет вычисления только на основе случайного выбора для небольшого подмножества. Это уменьшит избыточность, так как мы вычисляем стоимость только одного примера для каждого шага. SGD – это одна из разновидностей градиентного спуска [4].

Далее рассмотрим программную реализацию модуля обработки изображения в среде MATLAB, которая будет выполнять поставленные задачи, такие как изменение цвета, изменение размера изображения [5]. Для решения данных задач применим toolbox, а именно функции `imresize`, `rgb2gray` и `gray2rgb`. Первая функция используется для изменения размера изображения и помогает конвертировать изображение до нужного размера, а вторые функции помогают изменять цвет входного изображения. В свою очередь функция `imwrite` записывает все выходные данные с указанием имени файла. Присутствуют также и недостатки данной функции, так как идет переопределение предыдущего файла.

На рис. 3 представлен фрагмент программной реализации модуля, который осуществляет изменение размера и цветокоррекцию.

```

for i = 1:length(trainingset.Labels)
    imgtrain = readimage(trainingset,i);
    trainingsetsize(i,1,1) = size(imgtrain);
end
minx_train = min(trainingsetsize(:,1));
miny_train = min(trainingsetsize(:,2));

for i = 1:length(testset.Labels)
    imgtest = readimage(testset,i);
    testsetsize(i,1,1) = size(imgtest);
end
minx_test = min(testsetsize(:,1));
miny_test = min(testsetsize(:,2));

minx = 150;
miny = 150;

for i=1:length(trainingset.Labels)
    if trainingsetsize(i,1) == minx || trainingsetsize(i,2) == miny
        RGBtrain = imread(trainingset.Files(i));
        RGBtrain2 = imresize(RGBtrain, [miny minx]);
        graysize = rgb2gray(RGBtrain2);
        imwrite(graysize,trainingset.Files(i))
    end
end

for i=1:length(testset.Labels)
    if testsetsize(i,1) == minx || testsetsize(i,2) == miny
        RGBtest = imread(testset.Files(i));
        RGBtest2 = imresize(RGBtest, [miny minx]);
        graysize = rgb2gray(RGBtest2);
        imwrite(graysize,testset.Files(i))
    end
end
end

for i = 1:length(trainingset.Labels)
    imgtrain = readimage(trainingset,i);
    trainingsetsize(i,1,1) = size(imgtrain);
end
minx_train = min(trainingsetsize(:,1));
miny_train = min(trainingsetsize(:,2));

for i = 1:length(testset.Labels)
    imgtest = readimage(testset,i);
    testsetsize(i,1,1) = size(imgtest);
end
minx_test = min(testsetsize(:,1));
miny_test = min(testsetsize(:,2));

minx = 150;
miny = 150;

for i=1:length(trainingset.Labels)
    if trainingsetsize(i,1) == minx || trainingsetsize(i,2) == miny
        RGBtrain = imread(trainingset.Files(i));
        RGBtrain2 = imresize(RGBtrain, [miny minx]);
        imwrite(RGBtrain2,trainingset.Files(i))
    end
end

for i=1:length(testset.Labels)
    if testsetsize(i,1) == minx || testsetsize(i,2) == miny
        RGBtest = imread(testset.Files(i));
        RGBtest2 = imresize(RGBtest, [miny minx]);
        imwrite(RGBtest2,testset.Files(i))
    end
end
end

```

Рис. 3. Фрагмент кода модуля для корректировки цвета, изменения размера и записи данных

На рис. 4 приведен фрагмент кода в среде MATLAB, позволяющий быстро изменить размер входного изображения, которое будет использоваться для глубокого обучения. Также рассмотрим расширение данных, данный процесс позволяет внести изменения в имеющиеся данные. Основной задачей этого метода является то, что повышается производительность модели, сокращаются затраты и устраняется проблема, связанная с переобучением. В данном методе используем формулу `augmentedImageDatastore`, которая устраняет необходимость в ручной обработке данных и позволяет дополнять пакет данных без изменения размеров и цветорекции.

```

augmentedTrainingSet = augmentedImageDatastore([28 28 3],trainingSet, 'ColorPreprocessing','rgb2gray');
augmentedTestSet = augmentedImageDatastore([28 28 3],testSet, 'ColorPreprocessing','rgb2gray');
augmentedTrainingSet = augmentedImageDatastore([28 28 3],trainingSet, 'ColorPreprocessing','gray2rgb');
augmentedTestSet = augmentedImageDatastore([28 28 3],testSet, 'ColorPreprocessing','gray2rgb');

```

Рис. 4. Увеличение объема данных

Мы используем два типа данных, поскольку разделение на обучающий и тестовый наборы позволяет избежать проблем, связанных с пере-

обучением модели. Обучая модель на одном наборе данных, мы рискуем столкнуться с проблемами при тестировании на новых данных, так как модель может быть слишком адаптирована к обучающим данным и показывать низкую точность на новых примерах. Разделение на обучающий и тестовый наборы помогает проверить производительность модели на независимых данных и убедиться, что она способна обобщать информацию и давать необходимый результат на новых данных.

Выводы

Разработанный нейросетевой модуль позволит повысить эффективность процесса сортировки бытовых отходов, обеспечивая более точное и быстрое распознавание различных типов отходов. Благодаря многослойной структуре, подобной зрительной коре головного мозга, нейронная сеть, положенная в основу модуля способна обучаться на примерах различных наборов данных. Это позволит разработанному модулю адаптироваться к различным условиям работы и повышать точность распознавания различных видов отходов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Nikolov A., D'Aquin M., Motta E.* Unsupervised learning of link discovery configuration // Extended Semantic Web Conference, 2012. – pp.119-133.https://www.researchgate.net/publication/262271720_Unsupervised_Learning_of_Link_Discovery_Configuration
2. *Traore B. B., Kamsu-Foguem B., Tangara F.* Deep convolution neural network for image recognition // Ecological Informatics, 2018. – vol. 48. – Elsevier B.V. – pp. 257-268. https://www.researchgate.net/publication/283526194_Fuzzy_Feature_subset_selection_for_metagenomics
3. *Albawi S., Mohammed T. A., Al-Zawi S.* Understanding of a convolutional neural network // Proceedings of 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET 2017). – 2017. – IEEE. – pp. 1-6. https://www.researchgate.net/publication/319253577_Understanding_of_a_Convolutional_Neural_Network
4. *Ditzler, G., Morrison, J.C., Lan, Y. et al.* Fuzzy: feature subset selection for metagenomics // BMC Bioinformatics 16, 358 (2015). <https://doi.org/10.1186/s12859-015-0793-8>.
5. *Gogul I., Kumar V. S.* Flower species recognition system using convolution neural networks and transfer learning // 2017 Fourth International Conference on Signal Processing, Communication and Networking (ICSCN), – 2017. – IEEE. – pp. 1-6.

Прудников Артем Александрович, студент Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский 44, 347922: телефон +7(918)562-73-51, e-mail: aprudnikov@sfnedu.ru.

Поленов Максим Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7(8634)37-16-56, e-mail: mypolenov@sfnedu.ru.

Prudnikov Artyom Alexandrovich, student of the Institute of Computer Technology and Information Security of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky lane, 347922, phone: +7(918)562-73-51, e-mail: aprudnikov@sfnedu.ru

Polenov Maxim, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Engineering at the Institute of Computer Technology and Information Security of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovsky lane, 347922, phone: +7(8634)37-16-56, e-mail: mypolenov@sfnedu.ru

УДК 517.91: 519.6

Буланов Сергей Георгиевич

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПО ЛЯПУНОВУ СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ В АДДИТИВНОЙ ФОРМЕ

Представлен подход к анализу устойчивости по Ляпунову систем обыкновенных дифференциальных уравнений на основе преобразования разностных схем численного интегрирования. Результатом преобразований должны стать критерии устойчивости, допускающие программную реализацию. В работе на основе аддитивных преобразований получены критерии устойчивости, математическая конструкция которых позволила снять ряд ограничений, накладываемых на критерии, полученные ранее в мультипликативной форме. Форма представления критериев влечет возможность компьютеризировать анализ устойчивости по ходу приближенного решения дифференциальной системы. Результатом дальнейших исследований может стать интегральная форма

критериев, пригодная для теоретических оценок устойчивости и компьютерной реализации.

Устойчивость по Ляпунову, компьютерный анализ устойчивости, разностные решения дифференциальных уравнений.

Bulanov Sergei Georgievich

LYAPUNOV STABILITY ANALYSIS OF SYSTEMS OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS BASED ON CRITERIA IN ADDITIVE FORM

An approach to Lyapunov stability analysis of systems of ordinary differential equations based on the transformation of difference numerical integration schemes is presented. The result of the transformations should be sustainability criteria that allow for programmatic implementation. In the work, based on additive transformations, stability criteria were obtained, the mathematical design of which made it possible to remove a number of restrictions imposed on the criteria previously obtained in multiplicative form. The form of presentation of the criteria entails the possibility of computerizing the stability analysis in the process of approximate solution of the differential system. The result of further research may be an integral form of criteria suitable for theoretical assessments of stability and computer implementation.

Lyapunov stability, computer stability analysis, difference solutions of differential equations.

Введение

Работа посвящена решению актуальной задачи – разработке критериев устойчивости по Ляпунову систем нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Исследование устойчивости требуется проводить во многих разделах механики, гидродинамики, машиностроения, при управлении реактивными установками и космическими аппаратами, в теории сверхоперативного управления [1-3]. В технических приложениях важно, чтобы анализ устойчивости выполнялся в режиме реального времени [4, 5]. В работе предлагается подход к анализу устойчивости по Ляпунову систем нелинейных ОДУ на основе критериев, конструируемых на основе аддитивных преобразований разностных схем численного интегрирования. Критерии конструируются в виде необходимых и достаточных условий, форма критериев должна иметь возможность их программной реализации. Предполагается, что аддитивная форма критериев позволит

снять ряд ограничений, накладываемых на критерии в мультипликативной форме.

Основная часть

Рассмотрим нелинейную систему ОДУ

$$\frac{dY}{dt} = F(t, Y), Y(t_0) = Y_0. \quad (1)$$

Предполагается, что в области $R: \{ t_0 \leq t < \infty; \tilde{Y}(t), Y(t) : \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \delta, \delta > 0 \}$

для (1) выполнены все условия существования и единственности решения, функция $F(t, Y)$ определена, непрерывна и непрерывно дифференцируема по t .

В предшествующих работах были получены критерии устойчивости системы (1) в мультипликативной форме, которые в дополнении к оговоренным ограничениям, накладываемым на правую часть системы (1) требуют выполнения аналога условия Липшица и условия $\tilde{y}_{ki}(t) - y_{ki}(t) \neq 0, \forall t \in [t_0, \infty), i = 0, 1, \dots, k = 1, 2, \dots, n$ [6].

Необходимость выполнения дополнительных условий, накладываемых на правую часть системы (1), влечет уменьшение класса систем ОДУ, анализ устойчивости решений которых можно выполнять на основе ранее разработанных критериев [7].

Предложенный подход с учетом дополнительных ограничений позволяет свести анализ устойчивости нелинейной системы ОДУ к анализу устойчивости линейной системы ОДУ на основе линеаризации в достаточной малой окрестности возмущения начальных данных [8, 9].

Далее будут конструироваться критерии устойчивости системы (1) на основе аддитивных преобразований разностных схем. Точное решение системы (1) в форме метода Эйлера с остаточным членом на каждом шаге имеет вид:

$$y_{k(i+1)} = y_{ki} + h f_k(t_i, Y_i) + q_{ki}, k = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где q_{ki} – остаточные члены формулы Тейлора для k -й компоненты решения.

Для произвольно выбранной независимой переменной t шаг h предполагается равномерным на отрезке $[t_0, t]$, величины t, i, h связаны соотношениями: $t = \text{const}, t = t_{i+1}, h = (t_{i+1} - t_0)/(i+1), i = 0, 1, \dots, t_{j+1} = t_j + h, 0 \leq j \leq i$.

С целью снятия дополнительных ограничений выполним следующее преобразование выражения (2) в аддитивной форме

$$y_{k(i+1)} = y_{k(i-1)} + h f_k(t_{i-1}, Y_{i-1}) + q_{k(i-1)} + h f_k(t_i, Y_i) + q_{ki}, \quad k = 1, 2, \dots, n,$$

или,

$$y_{k(i+1)} = y_{k(i-2)} + h f_k(t_{i-2}, Y_{i-2}) + q_{k(i-2)} + h f_k(t_{i-1}, Y_{i-1}) + q_{k(i-1)} + h f_k(t_i, Y_i) + q_{ki}, \\ k = 1, 2, \dots, n.$$

Рекуррентное преобразования влечет соотношение

$$y_{k(i+1)} = y_{k0} + \sum_{\ell=0}^i h f_k(t_{i-\ell}, Y_{i-\ell}) + \sum_{\ell=0}^i q_{k(i-\ell)}, \quad y_{k0} = y_k(t_0), \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Для возмущенного решения (1), по аналогии с (3), справедливо равенство

$$\tilde{y}_{k(i+1)} = \tilde{y}_{k0} + \sum_{\ell=0}^i h f_k(t_{i-\ell}, \tilde{Y}_{i-\ell}) + \sum_{\ell=0}^i \tilde{q}_{k(i-\ell)}, \quad \tilde{y}_{k0} = \tilde{y}_k(t_0), \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Выполняя предельный переход при $i \rightarrow \infty$ на любом отрезке $[t_0, \tau]$ получим точное представление решения системы (1)

$$y_k(t) = y_{k0} + \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i h f_k(t_{i-\ell}, Y_{i-\ell}) + \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i q_{k(i-\ell)}, \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

Суммы остаточных членов оцениваются на основе неравенств

$$\left| \sum_{\ell=0}^i q_{k(i-\ell)} \right| \leq \sum_{\ell=0}^i |q_{k(i-\ell)}| \leq \frac{1}{2} \sum_{\ell=0}^i c_1 h^2 = \frac{1}{2} (i+1) c_1 h^2 = \frac{1}{2} (t-t_0) c_1 h.$$

Следовательно, $\left| \sum_{\ell=0}^i q_{k(i-\ell)} \right| \leq \frac{1}{2} (t-t_0) c_1 h \rightarrow 0, \quad i \rightarrow \infty$. Поэтому $\lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i q_{k(i-\ell)} = 0$,

$\forall t \in [t_0, \infty), \quad k = 1, 2, \dots, n$. По аналогии доказывается, что $\lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i \tilde{q}_{k(i-\ell)} = 0$.

На основе соотношений (3), (4) и оценок остаточных членов получим выражение для точного значения величины возмущения на промежутке $[t_0, \tau]$

$$\tilde{y}_k(t) - y_k(t) = \tilde{y}_k(t_0) - y_k(t_0) + \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i h (f_k(t_{i-\ell}, \tilde{Y}_{i-\ell}) - f_k(t_{i-\ell}, Y_{i-\ell})), \quad (5) \\ \forall t \in [t_0, \infty), \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

Выделим в (5) возмущение начальных данных в виде множителя:

$$\tilde{y}_k(t) - y_k(t) = \frac{\tilde{y}_k(t_0) - y_k(t_0) + \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i h (f_k(t_{i-\ell}, \tilde{Y}_{i-\ell}) - f_k(t_{i-\ell}, Y_{i-\ell}))}{\tilde{y}_k(t_0) - y_k(t_0)} \times (\tilde{y}_k(t_0) - y_k(t_0)) \quad (6) \\ \forall t \in [t_0, \infty), \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

Из (6) следует, что характер устойчивости решения задачи (1) определяется множителем перед начальным возмущением $\tilde{y}_k(t_0) - y_k(t_0)$.

Теорема 1. Для устойчивости решения задачи (1) необходимо и достаточно существование $\Delta, 0 < \Delta \leq \delta$ такого, что $\forall \tilde{Y}(t): 0 < \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta$ выполняется соотношение

$$\left| \frac{\tilde{y}_k(t_0) - y_k(t_0) + \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i h(f_k(t_{i-\ell}, \tilde{Y}_{i-\ell}) - f_k(t_{i-\ell}, Y_{i-\ell}))}{\tilde{y}_k(t_0) - y_k(t_0)} \right| \leq \tilde{c}_1, \quad \tilde{c}_1 = \text{const}, \quad \forall t \in [t_0, \infty), \quad (7)$$

$$k = 1, 2, \dots, n.$$

Для асимптотической устойчивости решения задачи (1) необходимо и достаточно, чтобы оно было устойчиво и существовало $\Delta_1 \leq \Delta$, такое, что неравенство $0 < \|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \Delta_1$ влечет выполнение соотношения

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left| \frac{\tilde{y}_k(t_0) - y_k(t_0) + \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{\ell=0}^i h(f_k(t_{i-\ell}, \tilde{Y}_{i-\ell}) - f_k(t_{i-\ell}, Y_{i-\ell}))}{\tilde{y}_k(t_0) - y_k(t_0)} \right| = 0, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

Критерии (7), (8) выполняются в условиях существования и единственности решения задачи (1), дифференцируемости правой части (1) на полуоси.

Конструкция критериев допускает возможность программной реализации. По характеру численных значений модуля выражения из левой части критериев теоремы 1 делается вывод об устойчивости исследуемой системы. Ограниченное изменение соответствует устойчивости, стремление к нулю свидетельствует об асимптотической устойчивости, неограниченный рост является признаком неустойчивости решения системы ОДУ [10, 11].

Выводы

Представлены критерии устойчивости по Ляпунову нелинейных систем ОДУ в виде необходимых и достаточных условий. Критерии конструируются на основе аддитивных преобразований разностных схем численного интегрирования. В результате преобразований величина возмущения определяется как произведение возмущения начальных данных на некоторый множитель, который и определяет характер устойчивости исследуемой системы. Аддитивная конструкция критериев позволила снять ряд ограничений, накладываемых ранее на мультипликативные критерии. Критерии допускают программную реализацию, что влечет возможность выполнять анализ устойчивости на их основе в режиме реального времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А.Ю., Жабко А.П., Косов А.А. Анализ устойчивости и стабилизация нелинейных систем на основе декомпозиции // Сибирский математический журнал. – 2015. – Т. 56, № 6. – С. 1215-1233.
2. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Технологический подход к исследованию устойчивости динамических систем: прикладные вопросы // Вестник РГРТУ – 2017. – № 59. – С. 127-135.
3. Zhaolu T., Chuanqing G. A numerical algorithm for Lyapunov equations // J. Appl. Math. Comput. – 2008. – Vol. 202, Issue 1. – P. 44-53.
4. Дружинина О.В., Масина О.Н. Системный подход к исследованию устойчивости моделей, описываемых дифференциальными уравнениями различных типов // Вестник Российской академии естественных наук. – 2015. – № 3. – С. 24-30.
5. Hafstein S. A constructive converse Lyapunov theorem on asymptotic stability for nonlinear autonomous ordinary differential equations // Dynamical Systems. – 2005. – Vol. 20. – P. 281-299.
6. Ромм Я.Е. Компьютерно-ориентированный анализ устойчивости на основе рекуррентных преобразований разностных решений обыкновенных дифференциальных уравнений // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – Т. 51, № 3. – С. 107-124.
7. Ромм Я.Е., Буланов С.Г. Численное моделирование устойчивости по Ляпунову // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 7. – С. 42-60.
8. Bulanov S.G. Differential systems stability analysis based on matrix multiplicative criteria // Journal of Physics: Conf. Series. – 2020. – P. 012103.
9. Bulanov S.G. Computer analysis of differential systems stability based on linearization and matrix multiplicative criteria // Journal of Physics: Conf. Series. – 2021. – P. 012101.
10. Буланов С.Г. Необходимые и достаточные критерии устойчивости по Ляпунову систем обыкновенных дифференциальных уравнений // Итоги науки и техн. Сер. Соврем. мат. и ее прил. Темат. обз. – 2023. – Т. 224. – С. 10-18.
11. Буланов С.Г. Критерии устойчивости систем обыкновенных дифференциальных уравнений // Итоги науки и техн. Сер. Соврем. мат. и ее прил. Темат. обз. – 2023. – Т. 225. – С. 28-37.

Буланов Сергей Георгиевич, кандидат технических наук, доцент, Ростовский государственный экономический университет, Россия, город Таганрог, улица Инициативная 48, 347924, телефон: 89094369543, email: bulanovtspi@mail.ru.

Bulanov Sergei Georgievich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Rostov State University of Economics, 347924, Russia, Taganrog, 48 Initsiativnaya street, phone: 89094369543, email: bulanovtgp@mail.ru.

УДК 004.652

Коптева Анна Валерьевна, Шадрина Валентина Вячеславовна

СРАВНЕНИЕ РЕЛЯЦИОННЫХ И ДОКУМЕНТНЫХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЦИФРОВОГО СЛЕДА В ОБРАЗОВАНИИ

В данной статье представлен комплексный сравнительный анализ реляционных и документных баз данных в контексте управления цифровыми следами в образовании. Исследование углубляется в отличительные характеристики реляционных и документных баз данных, имеющими схожие характеристики и принципиальные отличия в использовании, целеполагании применения. В работе анализируются различные критерии обеих архитектур баз данных с учетом тонкостей данных, включая формат хранения цифрового следа в образовательной среде, источники сбора цифрового следа, целостность данных, масштабируемость и гибкость разработки. Каждый из параметров систематически оценивается и подлежит сравнению, чтобы стало возможным сильные и слабые стороны каждого типа базы данных в образовательном контексте. В статье также подчеркиваются практические выводы, полученные в результате анализа, проливающие свет на сценарии, в которых одна архитектура баз данных может превосходить другую, и определяющие потенциальные варианты использования гибридного подхода.

База данных, цифровой след, образование, анализ преподавательской деятельности.

Kopteva Anna Valerievna., Shadrina Valentina V.

СРАВНЕНИЕ РЕЛЯЦИОННЫХ И ДОКУМЕНТНЫХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЦИФРОВОГО СЛЕДА В ОБРАЗОВАНИИ

This article presents a comprehensive comparative analysis of relational and document databases in the context of digital footprint management in education. The study delves into the distinctive characteristics of relational and document databases,

which have similar characteristics and fundamental differences in use and purpose of application. The paper analyzes the various criteria of both database architectures, taking into account the intricacies of the data, including the format for storing the digital footprint in the educational environment, sources of digital footprint collection, data integrity, scalability and development flexibility. Each of the parameters is systematically assessed and compared so that the strengths and weaknesses of each type of database in an educational context become possible. The article also highlights the practical implications of the analysis, shedding light on scenarios in which one database architecture may be superior to another and identifying potential use cases for a hybrid approach.

Database, digital footprint, education, analysis of teaching activities.

Основная часть

Стандарт сбора цифрового следа в образовании разработали и утвердили в Университете 20.35. «Университет 20.35» – финансируемая государством онлайн-платформа, аккумулирующая образовательный контент на темы, связанные со сквозными технологиями цифровой экономики. По словам разработчиков данной платформы, цифровой след собирается через аудио- и видеозаписи Zoom-конференций, чат-логи, данные об активности в рамках проектной работы, реакции учащихся, взаимные оценки и пр.

При формировании цифрового следа профессиональной и образовательной деятельности человека учитываются данные диагностики, образовательного содержания, процесса, индивидуального образовательного опыта, достижения, словом, тот багаж знаний, который человек собирает на протяжении всей жизни.

Цифровой след в образовательной среде – это коллективный след студентов и преподавателей, который состоит из целенаправленно собранных записей определенных действий в сети, взаимодействия учащихся или преподавателей, а также их вклада в коллективное развитие и в научную деятельность. Он охватывает данные и информацию, генерируемые и оставленные в результате взаимодействия людей с цифровыми платформами, образовательными инструментами, корпоративными сетями и другими онлайн-ресурсами в контексте образования [1].

Ключевые компоненты цифрового следа в образовательной среде включают в себя 4 категории.

Первая – онлайн-взаимодействие. Деятельность на образовательных веб-сайтах, в системах управления обучением, дискуссионных форумах и

платформах для корпоративного сотрудничества. Дополнительно к такого рода взаимодействию можно отнести участие в обсуждениях в аудитории офлайн и онлайн, отправку заданий и использование учебных материалов онлайн [2].

Вторая – использование цифровых инструментов: интеграция технологий в образовательный процесс предполагает использование различных цифровых инструментов, приложений и программного обеспечения. Каждое взаимодействие с этими инструментами, будь то в классе или во время дистанционного обучения, увеличивает цифровой след (BPC, MS Teams, MS Outlook и т.д.).

Третья – профессиональные (когнитивные) профили: создание когнитивного портрета каждого из педагогов может помочь в формировании коллективного цифрового следа. Эти профили демонстрируют квалификацию преподавателя, его опыт работы и научной деятельности, а также вклад в эту область.

Четвертая – проектирование базы данных для хранения данных о цифровых следах в сфере образования требует тщательного рассмотрения типов задействованных данных, вопросов конфиденциальности и безопасности, масштабируемости и конкретных потребностей образовательного учреждения [3].

Ниже приведены основные требования к базе данных для хранения данных о цифровых следах в образовательных учреждениях:

- 1) схема и структура данных: необходимо определить четко и хорошо организованную схему базы данных, отражающую форматы данных цифрового следа, которые будут храниться для дальнейшей интерпретации;
- 2) масштабируемость: необходимо учесть потенциальное увеличение объема информации, числа пользователей, дисциплин и т.д.;
- 3) нормализация: важно нормализовать базу данных, чтобы минимизировать избыточность данных и улучшить согласованность данных;
- 4) меры безопасности: критично важно внедрить надежные меры безопасности для защиты конфиденциальной информации;
- 5) резервное копирование и восстановление: нужно установить регулярные процедуры резервного копирования для предотвращения потери данных;
- 6) протоколы аудита: внедрение журналов аудита для регистрации изменений в базе данных;

7) управление параллелизмом: важно внедрить механизмы управления параллелизмом для одновременного доступа и изменения данных несколькими пользователями;

8) интеграция с другими системами: важно иметь возможность интегрировать базу данных по сбору и анализу цифрового следа с другими образовательными системами;

9) аутентификация и авторизация пользователя: требуется внедрить строгие механизмы аутентификации и авторизации пользователей для контроля доступа к базе данных, а также иерархию прав – кто имеет право на просмотр, кто на редактирование [4].

Данные требования к структуре базы данных для хранения артефактов цифрового следа в образовании критически важны при разработке надежной и безопасной системы хранения данных.

Реляционные базы данных можно эффективно использовать для хранения и обработки цифрового следа в образовании. Цифровые следы в образовании охватывают широкий спектр данных, генерируемых студентами, преподавателями и образовательными системами посредством взаимодействия в онлайн-среде и не только.

Данный тип баз данных предоставляет структурированный и организованный способ хранения, управления и извлечения разнообразных форматов данных [5].

Реляционные базы данных хорошо подходят для хранения и обработки цифровых следов в сфере образования благодаря нескольким ключевым характеристикам и преимуществам:

1) модель структурированных данных: РБД используют структурированную модель данных, организовывая информацию в таблицы с заранее определенными связями;

2) целостность данных: реляционные РБД обеспечивают целостность данных посредством ограничений, гарантируя, что данные соответствуют предопределенным правилам;

3) отношения и объединения: реляционная модель облегчает установление отношений между различными объектами;

4) гибкие запросы: Реляционные базы данных предоставляют стандартизированный язык запросов (SQL), который позволяет пользователям гибко извлекать, фильтровать и агрегировать данные;

5) масштабируемость: РБД могут масштабироваться для обработки широкого спектра объемов данных. Поскольку цифровой след в образова-

нии может включать в себя значительный объем данных, масштабируемость реляционных баз данных гарантирует, что они смогут удовлетворить растущие информационные потребности образовательных учреждений;

6) меры безопасности: РБД предлагают надежные механизмы безопасности, включая аутентификацию, авторизацию и шифрование пользователей;

7) нормализация данных: РБД поддерживают нормализацию данных, уменьшая избыточность и повышая эффективность;

8) согласованное резервное копирование и восстановление: РБД предоставляют надежные механизмы регулярного резервного копирования и восстановления;

9) интеграция с другими системами: РБД могут быть легко интегрированы с другими системами управления в ВУЗе, обеспечивая единую и связную среду данных;

10) историческая справка и анализ: РБД позволяют хранить исторические данные, позволяя образовательным учреждениям отслеживать изменения с течением времени. Это ценно для анализа тенденций, оценки эффективности образовательных инициатив и получения комплексного представления о цифровом следе [6].

Суммируя выше сказанное, можно сделать промежуточный вывод, что структурированная реляционная природа реляционных баз данных делает их подходящими для обработки разнообразных и взаимосвязанных данных, генерируемых в рамках цифрового следа в образовании. Их способность обеспечивать целостность данных, поддерживать гибкие запросы и обеспечивать надежные меры безопасности, делает их надежным выбором для образовательных учреждений, управляющих и анализирующих цифровые следы, но по-прежнему необходимо учесть все минусы данного вида БД.

Документные базы данных могут использоваться для хранения и обработки цифрового следа в образовании, особенно при работе с полуструктурированными или неструктурированными данными.

Документные базы данных относятся к категории баз данных NoSQL (не только SQL) и предназначены для обработки широкого спектра форматов данных, включая JSON, XML и другие форматы, ориентированные на документы [7].

Основные преимущества ДБД, отличающие их от баз данных с реляционной структурой:

1) гибкость с полуструктурированными данными: цифровые следы часто включают в себя разнообразные и развивающиеся типы данных, такие как взаимодействия в корпоративных сетях, выполнение внутривнутренних заданий, отчеты в форматах .excel и .word, а также – мультимедийный контент;

2) поддержка изменчивости в структуре данных: ДБД могут адаптироваться к различным форматам документов в одной структуре;

3) масштабируемость: базы данных документов разработаны с возможностью горизонтального масштабирования, что упрощает обработку больших объемов данных;

4) производительность операций чтения и записи: ДБД могут обеспечивать отличную производительность как для операций чтения, так и для операций записи, что делает их подходящими для сценариев, где важен быстрый поиск и обновление данных [8];

5) расширенные запросы и индексирование: ДБД предоставляют мощные возможности запросов, позволяющие извлекать конкретную информацию из сложных документов;

6) интеграция с облачными сервисами: ДБД часто проектируются для беспрепятственной работы с облачными сервисами;

7) динамические обновления и эволюция моделей данных: ДБД могут легко поддерживать динамические обновления структур данных, не требуя заранее определенной схематизации;

8) простота разработки: ДБД удобны для разработки и предлагают более интуитивный и гибкий подход к моделированию данных [9].

Хотя базы данных документов предполагают преимущества для определенных аспектов управления цифровым следом, выбор между базой данных документов и реляционной базой данных зависит от конкретных требований образовательного учреждения, характера данных и общей архитектуры предполагаемой интеллектуальной системы управления данными внутри структуры ВУЗа. Чтобы определить основные отличия между ДБД и РБД, важно наглядно представить их отличия.

В табл. 1 показаны ключевые сравнительные характеристики реляционных баз данных и баз данных документов:

Таблица 1

Сравнение Реляционной базы данных и документной с целью хранения и обработки цифровых следов в образовании

Критерии	Реляционная БД	Документная БД
Модель данных	Таблицы со структурированными отношениями	Сборка документов разных форматов
Схема	Фиксированная схема, predetermined структура	Динамическая схема, адаптируемая к изменениям
Целостность данных	Свойства ACID (Атомичность, Консистенция, Изоляция, Долговечность)	Может пожертвовать некоторыми свойствами ACID для гибкости (например, возможной последовательности)
Язык Запросов	SQL (Структурированный Язык Запросов)	Языки запросов, специфичные для базы данных (например, язык запросов MongoDB для MongoDB)
Сложные Отношения	Хорошо подходит для сложных отношений	Может обрабатывать более простые отношения, но не высокая оптимизация для обширных соединений
Масштабируемость	Вертикальная масштабируемость (добавление большего количества ресурсов на один сервер)	Горизонтальная масштабируемость (добавление большего количества серверов для распределения нагрузки)
Типы данных	В первую очередь подходит для структурированных типов данных	Подходит для структурированных и неструктурированных типов данных
Изменения в схеме	Изменения схемы мо-	Изменения схемы могут

	гут быть сложными и требуют тщательного планирования	быть более плавными и приниматься в моменте
Скорость разработки	Может потребоваться предварительный дизайн и планирование	Гибкая и более быстрая разработка и прототипирование
Требования к согласованности	Сильная последовательность по умолчанию	Может обеспечить опосредованную согласованность, в зависимости от конфигурации
Интеграция с другими системами	Хорошо зарекомендовавшая себя интеграция и зрелая экосистема	Интеграции могут варьироваться; растущая экосистема, часто используемая в современных облачных архитектурах
Сценарии использования	Хорошо подходит для приложений с четко определенными отношениями и там, где согласованность данных имеет решающее значение	Подходит для приложений с развивающимися или разнообразными структурами данных, высокими потребностями в масштабируемости и быстрыми циклами разработки
Среды реализации	MySQL, PostgreSQL, Oracle	MongoDB, CouchDB, Firebase Firestore

Выводы

Из проанализированных данных следует, что выбор базы данных складывается из следующих параметров: изначальная неструктурированность данных, разнообразие форматов и рассредоточение данных на разных устройствах и в цифровых ресурсах.

Исходя из этих критически важных параметров, при отсутствии четко структурированных данных, для хранения и исследования целесообразно использование документного типа баз данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мартишин С.А., Симонов В.Л., Храпченко М.В.* Проектирование и реализация баз данных в СУБД MySQL с использованием MySQL Workbench. Учебное пособие. – М.: Форум, 2018. – 160 с.
2. *Мартишин С.А., Симонов В.Л., Храпченко М.В.* Базы данных. Практическое применение СУБД SQL- и NoSQL-типа для применения проектирования информационных систем. – М.: Форум, 2018. – 368 с.
3. *Илюшечкин В.М.* Основы использования и проектирования баз данных. Учебник. – М.: Юрайт, 2017. – 214 с.
4. *Парфенов Ю.П.* Постреляционные хранилища данных. Учебное пособие. – М.: Юрайт, Издательство Уральского Университета, 2017. – 122 с.
5. *Попова Е.П., Решетникова К.В.* Основы использования и проектирования баз данных. Учебник. – М.: Юрайт, 2017. – 214 с.
6. *Мартишин С.А., Симонов В.Л., Храпченко М.В.* Базы данных. Практическое применение СУБД SQL и NoSQL. Учебное пособие. – М.: Форум, Инфра-М, 2016. – 368 с.
7. *Чаллавала Ш., Лакхатария Д., Мехта Ч., Патель К.* MySQL 8 для больших данных. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 226 с.
8. *Шустова Л.И., Тараканов О.В.* Базы данных. Учебник. – М.: Инфра-М, 2018. – 304 с.
9. *Нестеров С.* Базы данных. Учебник и практикум. – М.: Юрайт, 2017. – 230 с.

УДК 621.396

Максимова София Михайловна

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КВАНТОВЫХ АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

Технологические достижения, достигнутые в последнее время, особенно в области искусственного интеллекта (ИИ) и квантовых вычислений, привели к значительным изменениям в технологиях. Эти достижения оказали глубокое влияние на квантовую криптографию, область, в которой методологии искусственного интеллекта обладают огромным потенциалом для повышения эффективности и надежности криптографических систем. Однако появление квантовых компьютеров создало новую проблему для существующих алгоритмов безопасности, обычно называемую 'квантовой угрозой'. Несмотря на эти

проблемы, существуют многообещающие пути интеграции искусственного интеллекта на основе нейронных сетей в криптографию, что имеет значительные последствия для будущих парадигм цифровой безопасности. В этом резюме освещаются ключевые темы пересечения искусственного интеллекта и квантовой криптографии, включая потенциальные преимущества криптографии на основе искусственного интеллекта, проблемы, которые необходимо решить, и перспективы этой междисциплинарной области исследований.

Квантовые компьютеры, криптография, кубиты, квантовое распределение ключей, искусственный интеллект.

Maximova Sofia Mikhailovna

RESEARCH ON THE APPLICATION OF QUANTUM ENCRYPTION ALGORITHMS TO ENSURE CYBERSECURITY

Recent technological advances, especially in the fields of artificial intelligence (AI) and quantum computing, have led to significant changes in technology. These advances have had a profound impact on quantum cryptography, an area in which artificial intelligence methodologies have enormous potential to improve the efficiency and reliability of cryptographic systems. However, the advent of quantum computers has created a new problem for existing security algorithms, commonly referred to as the 'quantum threat'. Despite these challenges, there are promising ways to integrate artificial intelligence based on neural networks into cryptography, which has significant implications for future digital security paradigms. This summary highlights the key topics of the intersection of artificial intelligence and quantum cryptography, including the potential benefits of artificial intelligence-based cryptography, the challenges that need to be addressed, and the prospects for this interdisciplinary field of research.

Quantum computers, cryptography, qubits, quantum key distribution, artificial intelligence.

Введение

В последние годы технологии развивались с огромной скоростью, что привело к радикальным изменениям в вычислительной технике. Квантовые вычисления, в частности, привлекли внимание своей способностью революционизировать наши представления о вычислительной мощности и эффективности [2]. Они используют принципы квантовой механики для выполнения вычислений с беспрецедентной скоростью и точностью по сравнению с традиционными компьютерами.

Квантовые компьютеры имеют огромный потенциал, и их возможности применения практически безграничны. Они обсуждаются наряду с другими передовыми технологиями, такими как искусственный интеллект и машинное обучение, в современном цифровом мире. Применяемые технологии реализуют принципы квантовой физики и механики, включая основные её параметры: квантовую запутанность и принцип суперпозиции. Эти параметры используются компьютером для работы с данными, что для обычных компьютеров невозможно.

Главная цель использования квантовых компьютеров – работа с кубитами – основными единицами хранения информации в подобных системах.

Это повысило бы потенциал квантовых компьютеров и позволило бы выполнять более сложные вычисления [1]. Крупные технологические корпорации вкладывают значительные средства в эту область, чтобы преодолеть это препятствие.

Основная часть

Квантовая криптография — это передовая область, использующая принципы квантовой механики, для обеспечения беспрецедентного уровня конфиденциальности связи. В отличие от традиционных методов шифрования, которые зависят от сложных математических задач, квантовая криптография использует внутреннюю нестабильность квантовых частиц, что делает попытки взлома практически неосуществимыми [9].

Квантовые компьютеры приближаются к вычислительной мощности и стабильности, необходимой для взлома протоколов шифрования с открытым ключом, что делает переход на постквантовую криптографию необходимым. Постквантовая криптография использует законы квантовой физики для передачи личных данных не обнаруживаемым способом, что называется квантовым распределением ключей. Такой подход к криптографии нацелен на распределение ключей между пользователями по обычному каналу связи.

Квантовая криптография использует принципы квантовой механики для создания не поддающихся взлому ключей шифрования. Она кодирует данные с помощью фотонов для обеспечения безопасной передачи между сторонами. Поляризация и рандомизация состояний фотонов повышают безопасность данных, а теорема квантового клонирования обеспечивает конфиденциальность данных [10].

Криптографический ключ — это последовательность чисел определенной длины, которая используется для шифрования данных [4]. Кванто-

вые криптографические протоколы гарантируют, что ключ меняется динамически и автоматически при каждом обмене сообщениями с использованием одноразовой клавиатуры, которая является наиболее безопасной формой шифрования, доступной в настоящее время. Данные протоколы шифрования необходимы для защиты коммуникаций, финансовых транзакций и конфиденциальной личной информации. Однако с появлением квантовых вычислений возникли опасения по поводу эффективности существующих методов шифрования.

Перспективная технология квантового распределения ключей (QKD) использует квантовую механику для безопасного шифрования, передачи и дешифрования данных. Системы QKD используют квантовую механику для обнаружения любых попыток несанкционированного доступа, обеспечивая тем самым конфиденциальность сообщений. Этот инновационный подход способен произвести революцию в защите данных, обеспечив беспрецедентный уровень безопасности для современного мира, управляемого цифровыми технологиями.

Технология квантового шифрования основана на кодировании информации в квантовых состояниях, таких как поляризация фотонов. Эти частицы функционируют как крошечные защищенные контейнеры, содержащие секретные данные, к которым невозможно получить доступ без непосредственного взаимодействия с ними. Квантовые системы обладают отличительной особенностью: любая попытка отслеживать или перехватывать квантовое состояние неизбежно приводит к его разрушению. Следовательно, злоумышленник не может подслушать или скопировать информацию, не оставив следов, которые предполагаемый получатель немедленно обнаружил бы.

Современные алгоритмы открытых ключей используются для аутентификации, цифровой подписи, шифрования данных и ввода ключей в действие [4]. Однако, квантовые компьютеры представляют потенциальную угрозу безопасности, так как они могут быть использованы для взлома этих алгоритмов [8]. По результатам проведенных исследований, в США создали список инструкций, в которых описываются возможные результаты применения квантовых компьютеров и их угрозы для безопасности, которые возникнут при создании и использовании кардинально новых подходов к шифрованию и взлому криптографической защиты.

Из всех существующих алгоритмов наибольшую устойчивость к потенциальному взлому с использованием квантового компьютера показал

алгоритмы АЕС и SHA255, но только при том условии, если заданная длина ключа будет превышать стандартные параметры не менее чем в 3 раза. Подобные блочные шифры останутся актуальны и некоторое время смогут противостоять системам взлома, основанных на использовании квантовых компьютеров.

BB84 – один из самых известных протоколов в области квантовой криптографии, и его безопасность была доказана множеством исследований [5]. С практической точки зрения, квантовая криптография может быть уязвима для атак с помощью неотключаемых физических функций и LPA (атаки на основе света). Однако протоколы SARG04 (защита от удаленных атак) и trap-state повышают надежность распределения ключей и увеличивают расстояние передачи для квантового распределения ключей.

Квантовая запутанность проявляется в том, что две или более частицы становятся взаимосвязанными, сохраняя эту связь даже на огромных расстояниях. Это явление обеспечивает беспрецедентный уровень безопасности при передаче данных. Любая попытка перехватить или подслушать информацию неизбежно разрушит запутанность, сигнализируя о несанкционированном доступе.

Для противостояния угрозам, связанных с квантовыми вычислениями существуют два основных подхода: квантовое распределение (КРК) и постквантовая криптография (ПК). Квантовое распределение ключей эксплуатирует свойства квантовых частиц, делая невозможным перехват или копирование информации без её разрушения. Сгенерированные ключи устойчивы к атакам всех видов и находят применение в исследовательских центрах и государственных организациях для защиты конфиденциальных данных. Постквантовая криптография фокусируется на создании математических задач, устойчивых ко взлому с помощью квантовых компьютеров. Эти алгоритмы не поддаются взлому ни сейчас, ни в будущем.

КРК и ПК подходят к конкретным ситуациям: в первом случае это защита государственных данных, а во втором защита конфиденциальной информации как сейчас, так и в будущем. Сравнение методов отражено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение методов криптографии

Метод	Преимущества	Недостатки
Асимметричная криптография	Легко реализовать, широко используется	Уязвима к атакам квантовых компьютеров
Квантовое распределение ключей	Обеспечивает абсолютную безопасность	Требует специализированного оборудования, ограниченная дальность действия
Постквантовая криптография	Устойчива к квантовым атакам	Находится на ранней стадии разработки, стандарты еще не приняты

Выбор метода защиты данных зависит от конкретных требований и доступных ресурсов:

- асимметричная криптография: подходит для не конфиденциальных данных или ситуаций, где не требуется абсолютная безопасность;
- квантовое распределение ключей: используется для защиты конфиденциальных данных, требующих максимального уровня безопасности;
- постквантовая криптография: перспективный метод, но его внедрение потребует времени и стандартизации.

Для обеспечения безопасной передачи данных устройство может быть оснащено модулями квантовой криптографии. Однако широкому внедрению этой технологии препятствует отсутствие надежной инфраструктуры квантовых сетей. Передача квантовых частиц на большие расстояния сопряжена с техническими трудностями, требующими разработки каналов, устойчивых к помехам.

Криптография, основанная на квантовых принципах, имеет как значительные преимущества, так и недостатки. КК требует сложного специализированного оборудования и высококвалифицированного персонала для установки и обслуживания систем [7]. Также возникают сложности с передачей достоверной информации на большие расстояния, поскольку требует использовать ретрансляторы. Всё это сильно повышает стоимость требуемого оборудования для обеспечения работоспособности систем.

Квантовые частицы обладают свойствами суперпозиции, одновременно являясь логическим нулём и единицей. Связь между ними гарантирует целостность информации, так как при изменении состояния одного – мгновенно изменяется и другой элемент. На текущее время в какой-то степени

реализованы два метода: BB84, использующий поляризацию фотонов, и E91, использующий квантовую запутанность [2]. Отправитель создает пары запутанных частиц, отправляя одну частицу получателю, а другую сохраняя для собственного использования. После измерения поляризации обе стороны получают случайную последовательность.

Выводы

В России активно ведутся разработки в области квантовой криптографии, направленные на создание надежных и защищенных систем связи. Основными направлениями являются квантовые криптографические системы на базе атмосферной оптики, использующие атмосферный канал для передачи квантовых сигналов, что позволяет реализовать связь на большие расстояния, например, между наземными станциями или космическими аппаратами; квантовые интерфейсы, позволяющие сопрягать квантовые устройства с классическими каналами связи; квантовые ретрансляторы необходимые для увеличения дальности передачи информации и построения разветвленных сетей; квантовая память, позволяющая хранить квантовые состояния в течение длительного времени, что имеет важное значение для обеспечения надежной работы квантовых сетей. Развитие квантовой криптографии в России осуществляется в рамках национальной программы по созданию квантовой инфраструктуры. Эта программа объединяет усилия научных учреждений, университетов и компаний.

Квантовая криптография идеально подходит для защиты секретной информации, передаваемой по каналам связи, будь то военные секреты, государственные документы или конфиденциальные сведения топ-менеджмента [6]. Она может использоваться для защиты систем управления и контроля на объектах критической инфраструктуры, таких как электростанции, транспортные системы и системы связи и обеспечивать должный уровень защиты информации, которая хранится длительное время [4].

Квантовые протоколы могут быть использованы для обеспечения нового уровня анонимности и конфиденциальности передаваемой информации при онлайн-коммуникации, что имеет крайне важное значение в современном цифровом мире. Однако, несмотря на значительный потенциал, квантовая криптография все еще находится на достаточно ранних стадиях разработки [3].

Недавно был разработан новый алгоритм для обнаружения возможных угроз квантовым генераторам случайных чисел, что еще больше повышает безопасность этих систем. Квантовые вычисления потенциально

могут повлиять на асимметричное шифрование, которое зависит от сложного математического процесса, включая разложение больших чисел на простые множители. Если квантовые компьютеры получат широкое распространение, долгосрочная жизнеспособность традиционных методов шифрования может быть поставлена под угрозу.

Квантовая не является заменой традиционным методам шифрования, а дополняет их, предлагая более высокий уровень безопасности для наиболее чувствительных данных. Традиционные методы шифрования, такие как шифрование с открытым ключом и симметричное шифрование, имеют свои преимущества, такие как простота реализации, низкая стоимость и широкое распространение. Однако, они также имеют недостатки, такие как уязвимость к квантовым компьютерам и риск утечки ключей. Квантовая криптография, с другой стороны, обеспечивает абсолютную безопасность, гарантирует целостность данных и подходит для защиты конфиденциальных данных. Но имеет свои ограничения, такие как сложность реализации, ограниченная дальность действия и высокая стоимость.

БИБЛИГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Квантовый компьютер: что это, как работает и на что способен // Skillbox Media – URL: <https://skillbox.ru/media/code/chto-takoe-quantovyy-kompyuter-i-kak-on-rabotaet/>
2. Что такое шифрование? | Шифрование данных | Определение шифрования // Kaspersky.ru – URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/definitions/encryption>.
3. *Штеренберг С.И., Бударный Г.С., Ахметов Р.Р.* Обеспечение безопасности криптографии в условиях квантовых вычислений// Региональная информатика (РИ-2022). Юбилейная XVIII Санкт-Петербургская международная конференция. Материалы конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 585-586.
4. *Гельфанд А.М., Сизачева В.В., Архипов А.В., Сиротина Л.К.* Анализ и управление рисками информационной безопасности объекта критической информационной инфраструктуры // Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2023. № 3. С. 21-27.
5. *Гоулд Р., & Беннет С.* (2016). Применение квантовой криптографии для безопасной передачи данных. Журнал криптографии и информационной безопасности, 12(4), 215-230.

6. Batch fully homomorphic encryption over the integers / J.H. Cheon [et al.] // *Advances in Cryptology – EUROCRYPT'2013 (LNCS)*. – 2013. – Vol. 7881. – P. 315–335

7. *Заргарян Е.В., Морозов Н.В.* Необходимость разработки системы обнаружения утечек на нефтепроводе/ В сборнике: *Донецкие чтения 2023: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности*. Материалы VIII Международной научной конференции. Донецк, 2023. С. 141-143.

8. *Заргарян Е.В., Пои Ю.В.* Сепарация газа на промыслах и типы применяемых устройств. В сборнике: *Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020*. Материалы X Международной научно-технической конференции. "Технологии разработки информационных систем", 2020. С. 143-149

9. *Ганцевский А.В., Заргарян Е.В.* Анализ существующих методов оптической сепарации ТБО/ Молодёжный вестник Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2023. Т.3. №2 (10). С. 188-191.

10. *Заргарян Е.В., Филонова Е.С.* Эффекты применения технологий ПОТ в системах интеллектуального управления освещением на производстве// В сборнике: *Прикладные вопросы точных наук*. Материалы VII Международной научно – практической конференции студентов, аспирантов, преподавателей. 2023. С. 121 – 124.

Максимова София Михайловна, студентка Политехнического института (филиал) ДГТУ в г. Таганроге, Россия, город Таганрог, улица Петровская 109а, 347904, телефон: +7 (928) 778-71-94, email: sofiamaksimova.2003@mail.ru.

Maximova Sofia Mikhailovna, student of the Polytechnic Institute (branch) of DSTU in Taganrog, Russia, Taganrog, Petrovskaya street 109a, 347904, phone: +7 (928) 778-71-94, email: sofiamaksimova.2003@mail.ru.

УДК 621.396

Максимова София Михайловна

ПРИМЕНЕНИЕ ГОМОМОРФНОГО ШИФРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

В статье рассматривается концепция гомоморфного шифрования как инновационной формы шифрования, позволяющей обрабатывать данные, не расшифровывая их заранее. Подчеркивается, что гомоморфное шифрование нахо-

дит широкое применение в облачных хранилищах и базах данных, обеспечивая высокий уровень конфиденциальности и безопасности. Объяснено различие типов гомоморфного шифрования, таких как частичное, ограниченное и полное, и выделена важность использования этих методов для защиты данных в различных сценариях, включая обслуживание облачных сервисов и электронное голосование. В статье указано на ограничения существующих алгоритмов гомоморфного шифрования и необходимость дальнейших исследований в этой области для обеспечения высокого уровня безопасности данных.

Гомоморфное шифрование, криптография, обработка данных, конфиденциальность, облачное хранилище, ограничения алгоритмов.

Maximova Sofia Mikhailovna

THE USE OF HOMOMORPHIC ENCRYPTION IN THE FIELD OF CYBERSECURITY

The article discusses the concept of homomorphic encryption as an innovative form of encryption that allows you to process data without decrypting it in advance. It is emphasized that homomorphic encryption is widely used in cloud storage and databases, providing a high level of confidentiality and security. The difference between the types of homomorphic encryption, such as partial, limited and complete, is explained, and the importance of using these methods to protect data in various scenarios, including cloud services and electronic voting, is highlighted. The article points out the limitations of existing homomorphic encryption algorithms and the need for further research in this area to ensure a high level of data security.

Homomorphic encryption, cryptography, data processing, privacy, cloud storage, algorithm limitations.

Введение

Гомоморфное шифрование (ГШ) – это революционная криптографическая технология, позволяющая выполнять вычисления над зашифрованными данными без необходимости их предварительной расшифровки. Данные шифруются с помощью специального алгоритма, создавая "зашифрованный контейнер", который скрывает информацию от посторонних глаз. Зашифрованные данные обрабатываются как обычные, но все операции происходят внутри "контейнера", не затрагивая исходную информацию. Результат вычислений, полученный в зашифрованном виде, расшифровывается, предоставляя достоверный ответ без раскрытия исходных

данных. В следствие этого данные остаются защищены на протяжении всего процесса обработки, даже на серверах поставщиков услуг [4].

Основная часть

Гомоморфное шифрование находит особое применение в сценариях, где данные хранятся и обрабатываются в облачных хранилищах или базах данных, поскольку оно гарантирует, что конфиденциальные данные остаются в безопасности, даже если они обрабатываются третьими лицами. Это представляет собой значительный прогресс в криптографии и предлагает мощный инструмент для защиты конфиденциальности данных. Традиционные методы требуют, чтобы данные были расшифрованы перед обработкой, в то время как гомоморфные алгоритмы позволяют оставаться им в зашифрованном виде на протяжении всей обработки [1]. Это можно сравнить с конвертом, который можно вскрыть, не раскрывая его содержимого, что обеспечивает безопасную обработку данных при сохранении их конфиденциальности.

Концепция гомоморфного шифрования была впервые представлена в 1978 году, что привело к разработке алгоритма RSA. Однако полностью гомоморфные системы были реализованы только в 2009 году [10].

Существует несколько типов гомоморфного шифрования, включая частичное, ограниченное и полное гомоморфное шифрование. Частичное гомоморфное шифрование допускает проведение неограниченного количества одинаковых операций, в то время как ограниченное гомоморфное шифрование допускает только определенное количество операций. Полное гомоморфное шифрование обеспечивает неограниченное разнообразие операций и является самым мощным из трех типов [6]. Полностью гомоморфная криптосистема позволяет оценивать любую схему, что означает возможность разработки программы для работы с зашифрованными входными данными, производя зашифрованные выходные данные. Эти программы не расшифровывают свои данные, что позволяет им выполняться третьими сторонами без раскрытия содержащейся информации или внутреннего состояния. Это позволяет передавать вычислительные задачи на аутсорсинг в облако [2].

Использование зашифрованных данных в вычислениях помогает решить различные проблемы безопасности. Хранение данных в облаке с использованием гомоморфного шифрования обеспечивает их безопасность и конфиденциальность [1]. Это устраняет необходимость делиться ключами дешифрования с неавторизованными пользователями, тем самым снижая

риск утечки данных. Это также избавляет от необходимости полагаться на поставщиков услуг для безопасной передачи данных, поскольку доступ к данным будут иметь только авторизованные пользователи.

Использование медицинских данных для машинного обучения не представляет никаких рисков для пациентов и не требует удаления личной информации, поскольку вся информация зашифрована с самого начала. Результаты обработки также зашифрованы, и получить к ним доступ можно только с помощью правильного ключа расшифровки, что предотвращает несанкционированный доступ.

Проведение профилирования клиентов во время передачи данных маркетинговым компаниям не нарушает конфиденциальность, пока клиенты сохраняют контроль над своим ключом к данным. В этом случае целевая реклама по-прежнему может быть настроена и является менее агрессивной, чем другие формы маркетинга. Гомоморфное шифрование устраняет необходимость в предварительной оценке мер защиты персональных данных при трансграничной передаче данных, поскольку такие требования устраняются, когда данные шифруются с использованием методов гомоморфного шифрования.

В облачных вычислениях гомоморфное шифрование показывает себя с лучшей стороны [2]. Гомоморфное шифрование обладает огромным потенциалом для повышения безопасности и конфиденциальности данных в облачных вычислениях. По мере развития технологий и снижения вычислительных затрат ГШ станет более доступным и широко используемым [9]. Данные защищены даже во время обработки в облаке, что снижает риски несанкционированного доступа и утечки информации, а анализ данных позволяет извлечь ценные сведения без ущерба для конфиденциальности. ГШ обеспечивает гибкость и масштабируемость при работе с конфиденциальными данными в облаке, позволяя легко добавлять новых пользователей и расширять объемы данных.

Одним из наиболее существенных преимуществ полностью гомоморфного шифрования является его способность выполнять математические операции с данными, хранящимися в удаленном облачном хранилище [3]. Этот тип шифрования позволяет защищенным облачным сервисам выполнять различные операции с пользовательскими данными без ущерба для конфиденциальности фактического содержимого.

Информационная безопасность в облачных вычислениях стала предметом обсуждения лишь недавно, после широкого внедрения облачных

сервисов. Однако опыт работы с этими сервисами показал, что существующих криптографических методов недостаточно для защиты данных в этой среде. Защита данных в облаке представляет собой более сложную задачу, чем могут решить традиционные методы, и в некоторых случаях систем открытых ключей может оказаться недостаточно для защиты конфиденциальной информации [5].

Как упоминалось ранее, ГШ позволяет хранить и обрабатывать конфиденциальные данные в облачных сервисах без необходимости их расшифровки на стороне сервера. Это обеспечивает более высокий уровень безопасности, чем традиционные методы шифрования, и снижает риски утечки информации [3][5]. Из-за важности производительности в облачных вычислениях крайне важно использовать различные алгоритмы, адаптированные к конкретным требованиям. Следует изучить альтернативные методы для операций сортировки и сравнения. Для создания полнофункциональной гомоморфной системы шифрования важно ограничить количество манипуляций, выполняемых с данными, сохраняя при этом критические пороговые значения допуска ошибок [2].

Гомоморфное шифрование может играть ценную роль в гибридных облачных средах, где конфиденциальные данные хранятся как в локальной инфраструктуре, так и в общедоступном облаке. Оно позволяет выполнять вычисления над зашифрованными данными, хранящимися в общедоступном облаке, без их предварительной расшифровки. Это обеспечивает конфиденциальность данных, даже когда они обрабатываются на серверах стороннего поставщика и помогает компаниям соответствовать строгим требованиям к конфиденциальности данных, таким как GDPR и HIPAA, при использовании гибридных облачных решений [3].

ГШ обладает потенциалом для революционного изменения системы электронного голосования. Шифрование позволяет избирателям кодировать свои голоса, гарантируя, что их выбор останется конфиденциальным и тем самым обеспечивает прозрачность процесса голосования, позволяя проводить аудит и проверку результатов без раскрытия личности избирателей. Это защищает голоса от фальсификации и манипулирования, делая систему электронного голосования более надежной.

Пример системы электронного голосования с применением гомоморфного шифрования выглядит следующим образом [4]:

1. Избиратели разделили бы свои голоса на несколько частей, используя секретный метод;

2. Представители подсчитают неполные голоса. Благодаря свойствам гомоморфного шифрования окончательный результат голосования будет сохранен в тайне;

3. Шифрование гарантирует, что выбор каждого избирателя останется конфиденциальным. Никто не может отследить, как человек проголосовал. Алгоритмы ГШ обеспечивают точный подсчет голосов, исключая возможность манипулирования или фальсификации, а система позволяет проводить аудит и проверку результатов без раскрытия личности избирателей. Использование гомоморфного шифрования может повысить доверие к системе электронного голосования, делая ее более прозрачной и подотчетной [1].

Электронное голосование с ГШ может быть более быстрым, удобным и экономичным, чем традиционные методы. Это может сделать голосование более доступным для людей с ограниченными возможностями и обеспечить более высокую безопасность от фальсификации и манипулирования голосами, чем бумажные бюллетени [8].

Системы голосования должны быть спроектированы таким образом, чтобы предотвращать мошеннические действия, такие как многократное голосование, фальсификация результатов голосования и дублирование записей. Избирателям, имеющим право голоса, должно быть разрешено голосовать только с использованием электронной системы. Система электронного голосования, использующая гомоморфное шифрование, обеспечивает конфиденциальность каждого голоса. Голоса кодируются как 0 или 1, поэтому личность избирателя не может быть привязана к его бюллетеням. Результаты голосования регистрируются в публичном реестре, что позволяет любому желающему убедиться в том, что его голос был подсчитан [7]. В конце процесса голосования алгоритм подсчитывает общее количество голосов и шифрует его, используя конфиденциальный код, известный только группе назначенных лиц, которые обеспечивают точность и конфиденциальность результатов. Этот процесс помогает сохранить целостность системы голосования, предотвращая мошеннические действия и защищая частную жизнь избирателей [6]. Существенной проблемой в системах электронного голосования является обеспечение точной регистрации и защита результатов голосования от изменения. Это достигается за счет использования методов гомоморфного шифрования, которые позволяют проверять зашифрованные голоса, не раскрывая фактического выбора.

Эти методы основаны на доказательствах с нулевым разглашением, которые гарантируют, что голосование может иметь только два возможных результата, и требуют проверки избирателя для подтверждения бюллетеня [1]. Процесс голосования проводится с использованием нескольких сетей, чтобы предотвратить вмешательство сторон, не имеющих полномочий, в результаты. Для защиты процесса и обеспечения анонимности и конфиденциальности каждого голосования используются передовые методы шифрования. После того, как голоса были зашифрованы, их можно расшифровать, но их нельзя привязать к конкретным избирателям без помощи доверенного лица, имеющего доступ к ключу дешифрования. Как только бюллетени будут проверены на точность (0 или 1), их можно будет сравнить с критериями, указанными в процессе голосования. Однако убедиться в том, что избиратели не потеряли или не изменили свои бюллетени и что за них не были поданы дополнительные голоса, может быть непросто. Для решения этой проблемы, возможно, потребуется принять дополнительные меры проверки.

Выводы

Поскольку технологии криптографии и кибербезопасности продолжают развиваться, гомоморфное шифрование становится все более перспективной областью исследований. Несмотря на все ограничения, ГШ обладает огромным потенциалом для изменения подхода к безопасности и конфиденциальности данных в различных областях. Ожидается, что ГШ будет играть все более важную роль в областях защиты данных в здравоохранении, финансовых и государственных услугах.

В ближайшем будущем подобные виды шифрования, вероятно, окажут значительное влияние на рынок криптографических услуг. По мере развития технологий и снижения вычислительных затрат они станут более доступны и широко используемы.

Хотя частично гомоморфные схемы применяются для сложения и умножения в таких областях, как облачные вычисления и системы электронного голосования, они полезны только в определенных сценариях [1][4]. Эти схемы позволяют выполнять определенные операции без расшифровки данных, обеспечивая определенный уровень безопасности. Однако важно отметить, что они не всегда обеспечивают полную защиту и могут быть подвержены атакам. Поэтому некоторые гомоморфные методы могут подходить не для всех случаев передачи данных, требующих высокого уровня защиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поляков А.С. Анализ возможностей алгоритмов международного стандарта «Облегченная криптография» – ISO/IEC 29192-2:2012 / А.С. Поляков, В.Е. Самсонов // Информатика. – 2014. – № 3. – С. 107–112.
2. Батура Т.В. Облачные технологии: основные понятия, задачи и тенденции развития / Т.В. Батура Ф.А. Мурзин, Д.Ф. Семич // Программные продукты и системы. – 2014. – № 3. – С. 64–72.
3. Афанасьев С.В. Облачные сервисы, онтологическое моделирование таксономии / С.В. Афанасьев // Труды СПИИРАН. – 2012. – № 23. – С. 392–399.
4. Варновский Н.П. Гомоморфное шифрование / Н.П. Варновский, А.В. Шокуров // Труды Ин-та системного программирования РАН. – 2006. – Т. 12. – С. 27–36.
5. Жиров А.О. Безопасные облачные вычисления с помощью гомоморфной криптографии / А.О. Жиров, О.В. Жирова, С.Ф. Кренделев // Безопасность информационных технологий. – 2013. – Т.1. – С. 6–12.
6. Batch fully homomorphic encryption over the integers / J.H. Cheon [et al.] // Advances in Cryptology – EUROCRYPT'2013 (LNCS). – 2013. – Vol. 7881. – P. 315–335
7. Заргарян Е.В., Морозов Н.В. Необходимость разработки системы обнаружения утечек на нефтепроводе/ В сборнике: Донецкие чтения 2023: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Материалы VIII Международной научной конференции. Донецк, 2023. С. 141-143.
8. Заргарян Е.В., Рой Ю.В. Сепарация газа на промыслах и типы применяемых устройств. В сборнике: Технологии разработки информационных систем ТРИС-2020. Материалы X Международной научно-технической конференции. "Технологии разработки информационных систем", 2020. С. 143-149
9. Ганцевский А.В., Заргарян Е.В. Анализ существующих методов оптической сепарации ТБО/ Молодёжный вестник Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2023. Т.3. №2 (10). С. 188-191.
10. Заргарян Е.В., Филонова Е.С. Эффекты применения технологий ИОТ в системах интеллектуального управления освещением на производстве// В сборнике: Прикладные вопросы точных наук. Материалы VII Международной научно – практической конференции студентов, аспирантов, преподавателей. 2023. С. 121 – 124.

Максимова София Михайловна, студентка Политехнического института (филиал) ДГТУ в г. Таганроге, Россия, город Таганрог, улица Петровская 109а, 347904, телефон: +7 (928) 778-71-94, email: sofiamaximova.2003@mail.ru.

Maximova Sofia Mikhailovna, student of the Polytechnic Institute (branch) of DSTU in Taganrog, Russia, Taganrog, Petrovskaya street 109a, 347904, phone: +7 (928) 778-71-94, email: sofiamaximova.2003@mail.ru.

УДК 621.3.58

Клевцов Сергей Иванович

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ХАРАКТЕРА

В статье представлена обобщенная модель поведения организационной структуры, которая находится в условиях воздействия внешних и внутренних факторов и кроме того, на действия организационной структуры наложены ограничения различного характера, которые сужают область ее возможностей по решению сложной ситуации. Для моделирования развития сложных ситуаций предлагается использовать интегральную инструментальную платформу. В качестве инструментов рассматриваются модифицированные методы и средства различного типа, интегрируемые в зависимости от особенностей задачи в виртуальную интегральную систему, реализующую синтез возможных в этой ситуации сценариев поведения организационной структуры, модель которой построена на основе базовых компонентов платформы.

Моделирование, модель, организационная структура, дестабилизирующий фактор, инструментальная платформа.

Klevtsov Sergey Ivanovich

GENERALIZED MODEL OF BEHAVIOR OF ORGANIZATIONAL STRUCTURE UNDER THE INFLUENCE OF DESTABILIZING FACTORS OF EXTERNAL AND INTERNAL CHARACTER

The article presents a generalized model of behavior of organizational structure, which is under the influence of external and internal factors, and in addition, the actions of the organizational structure are imposed restrictions of various nature, which narrow the area of its capabilities to address a complex situation. For modeling the

development of complex situations it is proposed to use an integrated instrumental platform, as tools are considered modified methods and tools of various types, integrated depending on the features of the problem in a virtual integrated system that realizes the synthesis of possible scenarios of behavior of the organizational structure in this situation, the model of which is built on the basis of basic components of the platform.

Simulation, model, organizational structure, destabilizing factor, tool platform.

Введение

Процесс реализации цели организационной структурой связан с непрерывным анализом и принятием решений по выбору конкретных действий на каждом этапе в условиях внешнего влияния, нестабильной внешней обстановки и внутренних изменений, и ограничений, присущей данной организационной структуре. Определяемый при этом набор действий должен предусматривать многовариантность развития ситуации и, как следствие, различные пути и способы реализации поставленной цели в динамично меняющихся условиях существования [1].

Формирование на этой основе возможных эффективных сценариев поведения организационных структур при реализации поставленных целей в сложных условиях, с учетом влияния внешних факторов является одной из наиболее актуальных и перспективных задач исследования сложных систем.

Основная часть

Для решения задач разработки стратегии и тактики достижения цели организационной структурой с учетом влияния различных внешних и внутренних факторов предложена концептуальная макро модель описания поведения организационной структуры.

Макроструктура модели представлена следующим выражением:

$$\langle O, Y, F, U, H, Q, G, P, E, W, K, t \rangle,$$

где O – множество функциональных объектов, располагающих ресурсами, изменяющимися по заданным законам; Y – множество связей между объектами; F – множество внешних влияний; U – множество формируемых лицом, управляющим ситуацией (ЛСУ), управляющих воздействий на объекты; H – множество функций влияния объектов, причем каждый объект имеет одну изменяющуюся в процессе моделирования функцию влияния; Q – множество ограничений, накладываемых на характер изменения ре-

сурсов объектов, управляющих воздействий и т.д.; G – множество последствий нарушений ограничений Q ; P – множество прогнозов последствий воздействий на объекты; E – множество оценок моделируемой в системе ситуации; W – интегральная функция взаимодействия объектов; K – критерий состояния интегральной функции W ; t – текущая координата оси развития, обычно, время моделирования.

Основной модели является множество объектов. На j -м этапе на отрезке времени Δt_j объект $O_l \in O$ описывается выражением

$$\langle t_j, r_{lj}, F_{lj}, Q_{lj}, G_{lj}, H_{lj} \rangle, \quad (1)$$

где r_{lj} – ресурс объекта на отрезке времени Δt_j ; F_{lj} – внешнее влияние на объект на j -м этапе; Q_{lj} – ограничения, накладываемые на объект на j -м этапе; G_{lj} – последствия при нарушении ограничения Q_{lj} ; H_{lj} – функция влияния объекта на j -м этапе.

На каждом этапе функция влияния объекта O_l формируется при реализации выражения

$$V_l : \beta_l [r_{lj}, F_{lj}, Q_{lj}, G_{lj}, \dots] \rightarrow H_{lj}, \quad (2)$$

в котором учтены состояния ресурсов объекта r_{lj} , внешнее воздействие на объект F_{lj} , ограничения Q_{lj} и последствия их нарушения G_{lj} , имеющие место на j -м этапе.

Множество значений функций влияния $H_j = \{H_{lj}\}$ и внешнее воздействие F_0 определяют значение интегральной функции взаимодействия

$$\Gamma : \gamma[t_j, H_j, F_0] \rightarrow W_j, \quad (3)$$

состояние которой оценивается с помощью комплексного критерия K

$$\Pi : \pi[W_j, K_j] \rightarrow S_j. \quad (4)$$

Состояние S_j интегральной функции взаимодействия W , состояния объектов O_j , учет ограничений Q_j и последствий G_j , связанных с их нарушением, сформулированных в результате прогноза P , позволяют получить оценку состояния процесса, протекающего в модели

$$\Omega : \omega[S_j, O_j, Q_j, G_j, P_j] \rightarrow E_j \quad (5)$$

По результатам оценки состояния процесса E_j ЛУС, учитывая ограничения Q_j и последствия их нарушения G_j , вырабатывает множество управляющих воздействий U_j на объекты:

$$X : \chi[E_j, Q_j, G_j] \rightarrow U_j \quad (6)$$

На основе макромоделей может быть создана принципиально новая интегральная инструментальная платформа (ИИП) для моделирования поведения организационных структур в условиях нестабильной обстановки и влияния внешних факторов, развития и определения способов разрешения реальных кризисных ситуаций в различных областях и сферах жизни общества и деятельности человека. ИИП может быть определена как взаимосогласованная совокупность базовых компонентов и инструментальных средств различного типа, адаптируемых к особенностям объекта исследований и интегрируемых в зависимости от характера решаемой задачи или проблемы в конкретную систему моделирования, которая не только адекватно описывает поведение организационной структуры в рассматриваемой сложной ситуации, но и дает возможность прогнозировать поведение и строить возможные планы и сценарии действий (рис.1).

Базовыми компонентами предлагаемой интегральной инструментальной платформы (ИИП) являются:

- объекты, характеризующие организационные структуры и факторы, влияющие на них;
- правила и ограничения, формирующие область определения конкретной модели поведения организационной структуры и внешней среды;
- цели и критерии их достижения, как компоненты, характеризующие результат моделирования поведения организационной структуры.

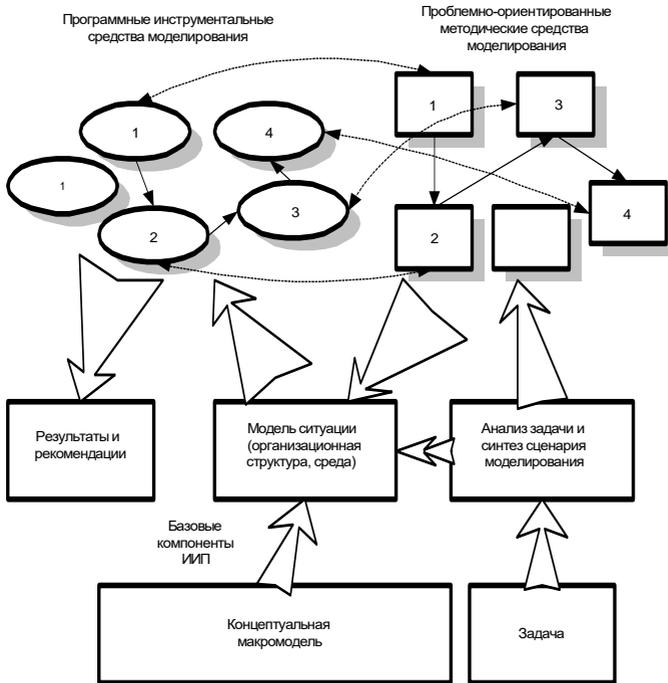


Рис. 1 Обобщенная схема взаимодействия элементов ИИП при моделировании поведения организационной структуры

Одним из основных компонентов ИИП являются объекты, - динамические образования, в основе которых лежит, сформированное в макромодели понятие объекта. Объекты формируют значение интегральной функции взаимодействия W , которая в свою очередь определяет динамику достижения цели организационной структуры через оценку ее состояния S .

В рамках ИИП объекты моделируют не только организационную структуру, но и внешние воздействующие факторы, которые влияют на структуру со стороны окружающей среды

Учитывая это, можно определить базовый объект ИИП, как систему отдельных элементов, взаимосвязанных и взаимовлияющих друг на друга в процессе моделирования.

Структура базового объекта ИИП представлена на рис. 2 [2].

Элементы объекта:

- свойства. Характеристики объекта, используемые для определения объекта и оценки влияния на другие объекты и цель через функцию влияния H . Свойства имеют наименование и значения.

- функции (методы). Представляют собой функциональные, логические или алгоритмические зависимости или конструкции, описывающие характер

и возможности влияния на объект через его свойства и параметры.

- ограничения. Описывают нормативные ограничения на изменение свойств и параметров объектов. Представляют собой систему ограничений функционального, логического или иного типа.

- последствия. Описывают последствия нарушения ограничений на изменение объектов. Представляют собой систему функциональных, логических или иных соотношений. Изменяют состояние объекта при нарушении ограничений. Влияет на функции внешнего влияния объекта F и на функцию воздействия на цель H .

Установка и изменение свойств объектов осуществляется с помощью методов (функций). К каждому объекту может быть прикреплен свой набор функций. Если при воздействии на свойства или параметры объекта с помощью определенной функции были нарушены ограничения, то наступают последствия нарушения этих ограничений, которые в той или иной степени влияют на функции F и H . Последствия, таким образом, связаны как с функцией объекта, так и с функциями влияния на объекты и на цель.

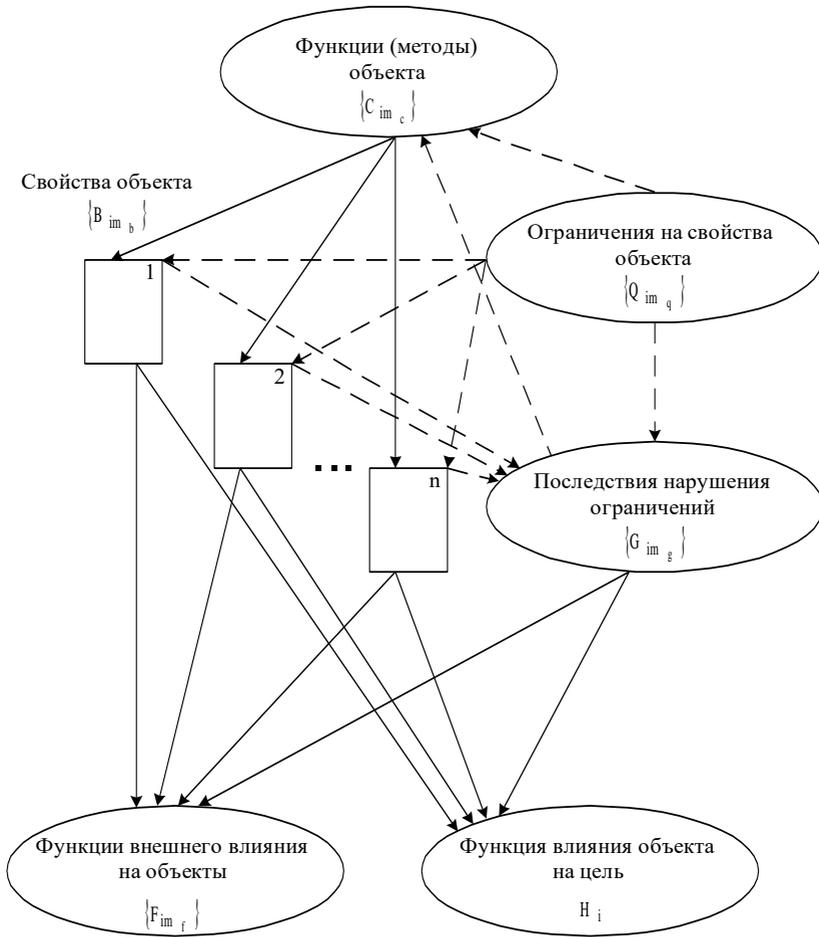


Рис.2 Структура базового объекта

Суть моделирования поведения организационных структур с помощью объектов заключается в том, что в процессе моделирования, анализируя промежуточные результаты оценки состояния S интегральной функции влияния W в контрольных точках, с помощью функций (методов) изменяются свойства или параметры объектов. Изменяя, таким образом, свойства и параметры, добавляя новые объекты, исключая ненужные, в процессе моделирования можно контролировать развитие моделируемой ситуации и формировать тактику достижения поставленной в начале моделирования

цели, динамику реализации которой характеризует упомянутая выше функция взаимодействия W .

Основными инструментальными средствами ИИП являются методические и программные средства, такие как методы и алгоритмы оценки состояния реализации цели организационной структуры, методы поддержки принятия решений на основе экспертных знаний, средства информационной поддержки, механизмы и схемы организации взаимодействия и противодействия объектов при моделировании и другие инструментальные средства.

Поскольку структуры, назначения и цели организационных систем, а также условия их функционирования могут сильно различаться, состав, структура и характеристики базовых компонентов и инструментальных расчетных, модельных и программных средств платформы должны охватывать большую часть спектра моделируемых задач.

Результатом моделирования должны быть данные, необходимые и достаточные для перехода к реальному управлению организационной структурой, т.е. должны быть сформированы:

- система целей или цель;
- комплекс (программа) действий по реализации систем целей или цели;
- ресурсное обеспечение, необходимое и достаточное для выполнения комплекса действий;
- рекомендации по организационному обеспечению реализации комплекса действий.

Данные по этим пунктам логически связаны в итерационном процессе их формирования. Сначала формируются цели, затем определяется комплекс действий по их реализации. Взаимосогласованный комплекс целей и действий является основой для распределения ресурсов. При нехватке ресурсов может быть уточнена программа действий или система целей и т.д.

Выводы

Предлагаемая интегральная инструментальная платформа направлена на моделирование развития сложных ситуаций с помощью модифицированных методов и средств различного типа, интегрируемых в зависимости от особенностей задачи в виртуальную интегральную систему, реализующую синтез возможных в этой ситуации сценариев поведения организационной структуры, модель которой построена на основе базовых компонентов ИИП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клевцов С.И., Пьявченко О.Н. Моделирование процесса управления результатами деятельности предприятия в нестабильных условиях. // Материалы НТК «Компьютерные технологии в инженерной и управленческой деятельности». Ч.1. – Таганрог: ТРТУ, 1998. – С.20-29.

2. Клевцов С.И. Структура и связи динамических объектов в модели целенаправленного развития организации в поле пространственно-временных ограничений и воздействий. // Известия ТРТУ. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001, №3(21). – С.3-10.

Клевцов Сергей Иванович – Южный федеральный университет; e-mail: si-klevcov@sfedu.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328025; к.т.н.; доцент.

Klevtsov Sergey Ivanovich – Southern Federal University; e-mail: si-klevcov@sfedu.ru; 81, Petrovsky, street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328025; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 681.883.07

Панычев Андрей Иванович

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРНОГО СИГНАЛА В ГИДРОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ

Предложен основанный на современных методах цифровой обработки сигналов обобщенный алгоритм формирования траекторного сигнала в гидролокаторе с синтезированием апертуры, имеющем одноэлементную излучающую и многоэлементную приемную антенны. Алгоритм производит внутриканальную и межканальную обработку и включает дискретизацию по времени и квантование по уровню принятых эхосигналов, цифровое формирование отсчетов квадратурных составляющих в частотной области, согласованную фильтрацию комплексных огибающих в частотной области методом «быстрой» свертки, коррекцию фазы отсчетов временной последовательности сигнала по данным бортовой навигационной системы, компенсацию незначительных траекторных нестабильностей корреляционным методом и объединение приемных каналов.

Гидролокатор, синтезирование апертуры антенны, цифровая обработка сигналов.

Panychev Andrey Ivanovich

AN ALGORITHM OF TRAJECTORY SIGNAL GENERATION IN A SYNTHETIC APERTURE SONAR

A generalized algorithm for a trajectory signal formation in a synthetic aperture sonar with single-element radiating and multi-element receiving antenna based on modern digital signal processing methods is proposed. The algorithm performs in-channel and cross-channel processing and includes time sampling and level quantization of received echo signals, digital forming of signal quadrature components in the frequency domain, coordinated filtering of complex envelopes in the frequency domain by the "fast" convolution method, phase correction of time sequence samples of the signals according to the data of the onboard navigation system, compensation for minor trajectory instabilities by the correlation method and combining of the receiving channel signals.

Sonar, antenna aperture synthesis, digital signal processing.

Введение

Гидролокаторы с синтезированием апертуры антенны (ГСА, в англоязычной литературе SAS – synthetic aperture sonar) совмещают высокую угловую (азимутальную) разрешающую способность гидролокатора с максимально возможной дальностью его действия при минимальных физических размерах устройства. ГСА обеспечивают качество гидролокационных изображений (ГЛИ), недостижимое в традиционных обзорных гидролокаторах и позволяющее обнаруживать и классифицировать малоразмерные и малозаметные донные объекты [1–7].

Анализ алгоритмов обработки сигналов в ГСА

Современные активные ГСА излучают зондирующий ЛЧМ сигнал одним слабонаправленным антенным элементом, а прием отраженного сигнала производят многоэлементной линейной антенной. Такой подход позволяет получить достаточно большую однозначно измеряемую дальность при приемлемой скорости носителя, в качестве которого обычно используются различные типы автономных и телеуправляемых необитаемых подводных и надводных аппаратов [1–7].

Алгоритм функционирования ГСА можно условно разделить на три части:

- 1) формирование траекторного сигнала;
- 2) синтезирование апертуры;
- 3) построения ГЛИ.

Алгоритм начинается с предварительной обработки сигналов в независимых элементарных приемных каналах, в процессе которой формируются комплексные огибающие, производится согласованная фильтрация и весовая обработка эхосигналов. Далее для обеспечения высокого разрешения ГСА, определяемого точностью фазовых соотношений сигналов на участке синтезирования, выполняется компенсация траекторных нестабильностей носителя, которая может содержать до трех этапов:

- «грубая» коррекция на основе данных навигационного оборудования, вспомогательных датчиков, дополнительных антенн;

- «точная» коррекция на основе корреляционных методов анализа сигналов, соответствующих одному пространственному положению элементов антенны на двух соседних зондированиях;

- «прецизионная» коррекция методами автофокусировки ГЛИ.

Формирование траекторного сигнала завершается объединением каналов, которое совмещает в единую матрицу сигналы, принятые отдельными элементами антенны ГСА на всех зондированиях и подвергнутые обработке, требуемой используемым методом синтезирования апертуры.

Алгоритм формирования траекторного сигнала ГСА

Одним из основных направлений совершенствования ГСА является достижение быстродействия, позволяющего формировать ГЛИ в реальном масштабе времени. Задача решается комплексно аппаратно-программными средствами, алгоритмы обработки сигналов при этом играют существенную роль.

Как правило, выполнение внутриканальной предварительной обработки сигналов в темпе поступления эхосигналов не вызывает затруднений. В то время как продолжительность следующих этапов обработки сигналов в ГСА существенно зависит от числа элементов приемной антенны, точности бортового навигационного комплекса, стабильности параметров движения носителя, метода синтезирования апертуры.

Очевидно, максимальное быстродействие ГАС способны обеспечить методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов (ЦОС). На рис. 1 при-

ведена структурная схема алгоритма формирования траекторного сигнала, в основе которого лежит ЦОС.

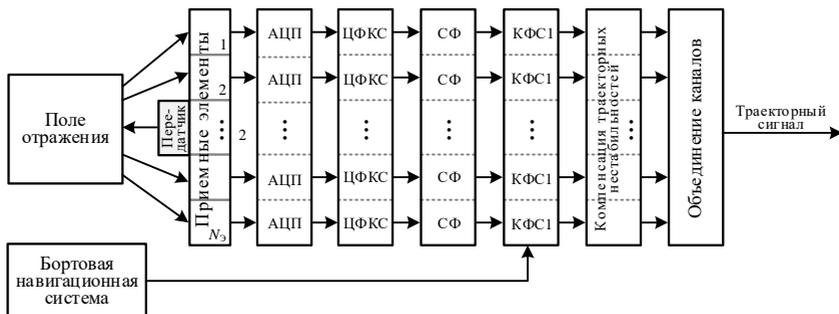


Рис. 1. Структурная схема алгоритма формирования траекторного сигнала ГСА

Внутриканальная обработка эхосигналов выполняется независимо в каждом из N_3 приемных каналов на каждом зондировании в реальном масштабе времени и включает:

- дискретизацию по времени и квантование по уровню с помощью АЦП;
- цифровое формирование квадратурных составляющих (ЦФКС) во временной области;
- согласованную фильтрацию (СФ) комплексных огибающих эхосигналов;
- коррекцию фазы сигналов (КФС1) по данным бортовой навигационной системы.

Межканальная обработка сигналов начинается со второго зондирования и включает:

- компенсацию траекторных нестабильностей (КТН), которая выполняется в темпе поступления эхосигналов;
- объединение каналов, для которого требуется предварительное накопление по всем зондированиям прошедших предыдущие этапы обработки эхосигналов, и которое выполняется за время, составляющее несколько периодов повторения зондирующих сигналов.

Таким образом, время формирования траекторного сигнала ГСА практически равно времени накопления сигналов в приемных каналах на

участке синтезирования и составляет от единиц до нескольких десятков секунд.

Эффективные методы и приемы ЦОС, использующие БПФ и позволяющие формировать траекторный сигнал в темпе реального времени, следующие.

На этапе внутриканальной обработки используются [8]:

- цифровое формирование отсчетов квадратурных составляющих эхосигналов во временной области с использованием стробоскопического эффекта при их дискретизации и двух цифровых фильтров нижних частот, работающих с децимацией выходных отсчетов;
- согласованная фильтрация комплексных огибающих сигналов в частотной области методом «быстрой» свертки;
- «грубая» коррекция фазы сигналов в частотной области.

Этап межканальной обработки начинается «точной» компенсацией траекторных нестабильностей носителя ГСА методом смещенных фазовых центров антенны (Displaced Phase Centers Antenna, DPCA), называемой «микронавигацией» [9–11]. Метод DPCA основан на переходе от бистатической гидролокации к моностатическому приближению, что позволяет существенно сократить вычислительные затраты синтезирования апертуры при приемлемом ухудшении разрешения по путевой дальности [1–3]. Структурная схема алгоритма микронавигации приведена на рис. 2.

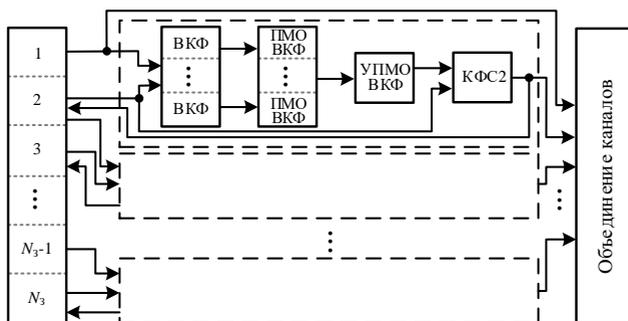


Рис. 2. Структурная схема алгоритма компенсации траекторных нестабильностей носителя ГСА

Алгоритм микронавигации начинает работать со второго зондирования и повторяется до последнего зондирования N_3 .

Тело цикла алгоритма содержит следующие процедуры:

- выбор двух последовательных зондирований, начиная с первого;
- формирование пар приемных каналов, соответствующих перекрывающимся фазовым центрам приемных элементов антенной решетки на двух последовательных зондированиях; количество пар определяется скоростью движения носителя ГСА;
- вычисление взаимных корреляционных функций (ВКФ) сигналов в сформированных парах приемных каналов методом «быстрой» свертки в частотной области;
- вычисление уточненного положения максимального по модулю отсчета (ПМО) ВКФ каждой пары приемных каналов методом центроида, которое характеризует вызванную флуктуациями движения разницу между задержками сигналов, принятых в одной и той же точке траектории на двух последовательных зондированиях;
- вычисление усредненного положения максимального по модулю отсчета (УПМО) на наборе ВКФ всех пар приемных каналов, которое характеризует вызванную флуктуациями движения разницу между задержками сигналов во всех приемных каналах антенной решетки на двух последовательных зондированиях;
- коррекция фазы отсчетов сигналов (КФС2) второго зондирования во всех приемных каналах по вычисленной усредненной разнице задержек на двух соседних зондированиях и замена исходного эхосигнала скорректированным;
- смещение на следующее зондирование.

Таким образом, алгоритм микронавигации корректирует фазы сигналов всех приемных каналов на всех зондированиях, кроме первого. Положение антенны на первом зондировании принимается за эталонное. Особенностью алгоритма «тонкой» компенсации траекторных нестабильностей является то, что информация о флуктуациях положения носителя ГСА извлекается из самих эхосигналов.

Алгоритм объединения каналов включает выполнение:

- перехода в частотно-волновую область, используемую « $\omega-k$ »-методом синтеза апертуры [1-3];
- фазовой коррекции сигналов в частотной области для минимизации ошибки моностатической аппроксимации, которая существенна для десяти- и более многоэлементной приемной антенны [1];
- объединения сигналов приемных каналов для формирования матрицы траекторного сигнала в частотно-волновой области;

- весовой обработки траекторного сигнала по «быстрому» (наклонной дальности) и «медленному» (путевой дальности) времени для повышения четкости ГЛИ.

Выводы

Рассмотренный алгоритм формирования траекторного сигнала в ГСА основан на эффективных методах и приемах ЦОС, таких как использование стробоскопического эффекта при выборе частоты дискретизации, цифровое формирование квадратурных составляющих, корреляционная обработка в частотной области методом «быстрой» свертки, фазовая коррекция сигналов в частотной области. Это позволяет выполнить подготовительные к синтезированию апертуры процедуры в темпе поступления экосигналов, что существенно уменьшает время постобработки накопленных на участке синтезирования данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Bonifant W.W.* Interferometric synthetic aperture sonar processing: a thesis presented to The Academic Faculty In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science in Electrical Engineering. Georgia Institute of Technology, 1999.

2. *Callow H.J.* Signal Processing for Synthetic Aperture Sonar Image Enhancement: a thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy in Electrical and Electronic Engineering at the Univ. of Canterbury. Christchurch, New Zealand, 2003.

3. *Hansen R.E.* Introduction to Synthetic Aperture Sonar, Sonar Systems / Ed. Prof. N. Kolev // Tech. 2011. ISBN 978-953-307-345-3. [Electronic resource]. URL: <http://www.intechopen.com/books/sonarsystems/introduction-to-synthetic-aperturesonar> (дата обращения: 11.05.2024 г.).

4. *Золотарев В.В.* Гидролокаторы с синтезированной апертурой для автономного подводного робота // Подводные исследования и робототехника. – 2007. – №1(3). – С.12-20.

5. *Костоусов А.В., Костоусов В.Б.* Моделирование ГБО с синтезированной апертурой // Подводные исследования и робототехника. – №2(6). – 2008. – С.16-29.

6. *Агеев А.Л., Костоусов В.Б., Агафонов И.Б., Золотарев В.В.* Моделирование и обработка траекторного сигнала гидролокатора с синтезированной апертурой // Технические проблемы освоения Мирового океана. – 2009. – Т. 3. – С. 351-355.

7. Агеев А.Л., Изумнов Г.А., Костоусов В.Б., Агафонов И.Б., Золотарев В.В., Мадисон Е.А. Синтезирование апертуры многоканального гидролокатора бокового обзора с компенсацией траекторных нестабильностей // Подводные исследования и робототехника. – 2012. – № 2(14). – С.13-27.

8. Маркович И.И. Реализация алгоритмов цифрового формирования квадратурных составляющих в локационных комплексах различного назначения. // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2006. – №6. – С.16-21.

9. Andrea Bellettini and Marc A. Pinto, Theoretical Accuracy of Synthetic Aperture Sonar Micronavigation Using a Displaced Phase-Center Antenna IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 27, No. 4, October 2002, pp. 780-789.

10. Bellettini, A. and Pinto, M. A. (2000). Experimental investigation of synthetic aperture sonar Micronavigation, Proceedings of the Fifth ECUA 2000, Lyon, France, (445–450).

11. Bellettini, A. and Pinto, M. A. (2002). Accuracy of SAS micronavigation using a displaced phase centre antenna: theory and experimental validation, Saclantcen report, SR-355, 24 p.

Панычев Андрей Иванович, кандидат технических наук, доцент института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7 (8634) 37-16-34, email: aipanychev@sfnedu.ru.

Panychev Andrey Ivanovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), associate Professor of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, 44 Nekrasovsky per., Taganrog, Russia, 347922, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: aipanychev@sfnedu.ru.

Бугаев Сергей Александрович, Завтур Евгений Евгеньевич

ЦИФРОВОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КВАДРАТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В МНОГОЛУЧЕВОМ ЭХОЛОТЕ

В работе описана процедура цифрового формирования квадратурных составляющих принятых сигналов в многолучевом эхолоте. Приведены состав эхолота, структурная схема цифрового формирования квадратурных составляющих сигналов. Схематично показано преобразование спектров сигнала при цифровом формировании квадратурных составляющих сигналов.

Многолучевой эхолот, частота дискретизации, цифровое формирование квадратурных составляющих сигналов.

Bugaev Sergey Alexandrovich, Zavtur Evgeny Evgenevich

DIGITAL GENERATION OF QUADRATURE COMPONENTS IN A MULTIBEAM ECHOSOUNDER

The paper describes the procedure of digital formation of quadrature components of received signals in the multibeam echosounder. The echosounder structure and schematic block diagram of digital formation of quadrature components of signals are given. Conversion of the signal spectra during digital formation of quadrature components is shown schematically.

Multibeam echosounder, sampling frequency, digital formation of quadrature signal components.

Достигнутый в последнее время прогресс в цифровой вычислительной технике привел к широкому распространению многолучевых эхолотов (МЛЭ).

МЛЭ предназначен для мониторинга подводной обстановки, проведения поисково-спасательных и гидрографических работ. Использование МЛЭ позволяет повысить эффективность проведения работ, вероятность распознавания подводных объектов в широком диапазоне измеряемых глубин при различных гидрографических условиях. МЛЭ обеспечивают полное акустическое освещение морского дна, что в результате повышает разрешающую способность съемки и возможность обнаружения объектов на поверхности дна [1–3].

МЛЭ состоит из излучающей и приемной гидроакустических антенн, блока электроники (БЭ), блока вторичных источников питания (ВИП) и персонального компьютера (ПК). Структурная схема МЛЭ приведена на рис. 1.

Приемная антенна представляет собой линейную антенную решетку, состоящую из нескольких десятков элементов.

БЭ МЛЭ осуществляет формирование зондирующих сигналов, приём, обработку и передачу гидроакустической информации. БЭ выполняет команды, поступающие по интерфейсу Ethernet от персонального компьютера, на котором установлена программное обеспечение (ПО) МЛЭ. ПО

также выполняет пространственно-временную обработку сигналов [4–6] и формирование гидролокационного изображения рельефа дна.

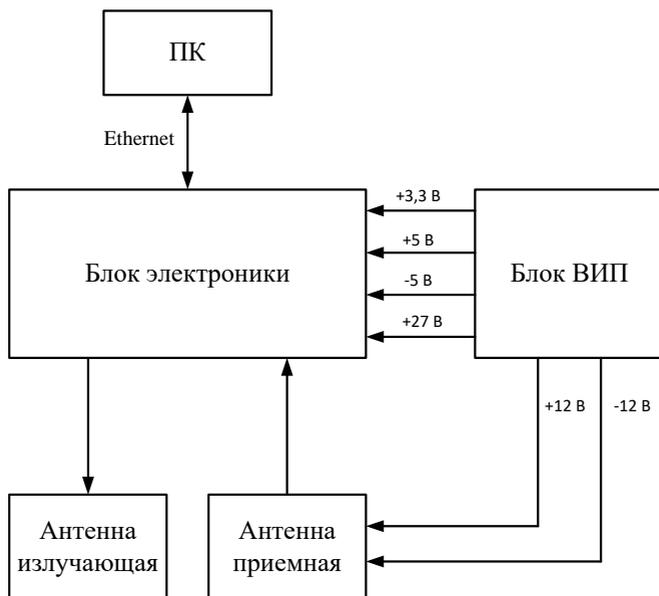


Рис. 1. Структурная схема МЛЭ

Основной процедурой, выполняемой в БЭ, является цифровое формирование квадратурных составляющих (ЦФКС) принятых сигналов [7–9], в результате которого выделяется комплексная огибающая (КО) сигналов [10].

Известно, что для полосовых сигналов частоту дискретизации F_d можно выбирать не по верхней граничной частоте f_v , а по ширине полосы исследуемых частот $\Delta f = f_v - f_n$ (f_n – нижняя граничная частота). Это позволяет снизить требования к быстродействию аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и следующих за ним устройств цифровой обработки сигналов (ЦОС). В данном методе ЦФКС сигнала используется стробоскопический эффект при дискретизации сигналов.

При ЦФКС наибольшее распространение получил симметричный разнос граничных частот, при котором в результате дискретизации центральная частота спектра сигнала попадает точно на $F_d/4$ или на $3F_d/4$. При

симметричных относительно центральной частоты спектра исходного сигнала (например, для импульсов с ЛЧМ) и помехи, расположение спектров после дискретизации будет наилучшим по критерию минимального наложения спектров.

На рис. 2 приведена структурная схема ЦФКС.

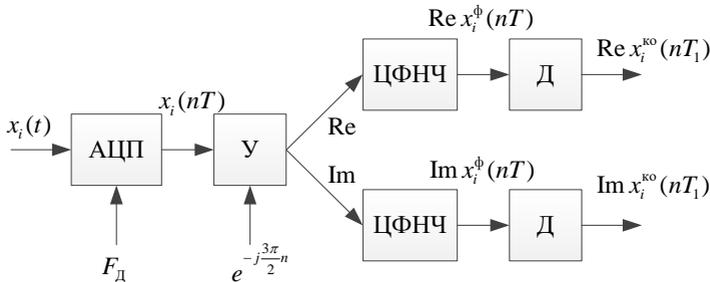


Рис. 2. Структурная схема ЦФКС

На схеме обозначено:

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

У – умножитель;

ЦФНЧ – цифровой фильтр нижних частот;

Д – дециматор.

Согласно приведенной на рис. 2 структурной схеме в течение времени приема сигналов T_n в АЦП производится преобразование принятых в каждом i -ом канале экосигналов $x_i(t)$ на несущей частоте f_0 в цифровую форму $x_i(nT)$ ($n = 0, 1, \dots, N - 1$) с частотой дискретизации $F_d = 4/3f_0$.

ЦФКС состоит из АЦП, работающего с частотой дискретизации F_d , умножителя на комплексную экспоненту, обеспечивающего сдвиг спектра сигналов в область нулевых частот, и двух ЦФНЧ в реальном и мнимом каналах с децимацией выходных отсчетов в k_d . Частота дискретизации КО сигналов на выходе ЦФКС равна $F_{d1} = F_d/k_d$.

Полученный с выхода АЦП оцифрованный сигнал $x_i(nT)$ умножается на значения комплексной экспоненты:

$$x_i^3(nT) = x_i(nT)e^{-j\frac{3\pi}{2}n}, \quad (1)$$

где $n = 0, 1, \dots, N - 1$; N – количество отсчетов сигнала; T – период дискретизации.

Дальнейшая обработка заключается в фильтрации сигнала с целью подавления инверсной (зеркальной) составляющей спектра сигнала. Для этого используется ЦФНЧ.

Частота гарантированного пропускания амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) ЦФНЧ выбрана из условия пропускания спектра сигнала. Выбранная частота гарантированного задерживания исключает наложение спектров сигнала после децимации. Широкая переходная полоса обеспечивает малый порядок фильтра.

Фильтрация осуществляется путем линейной свертки сигнала с импульсной характеристикой (ИХ) фильтра:

$$x_i^\phi(nT) = \sum_{l=0}^n x_i^2(lT) \cdot h_{\text{ЦФНЧ}}((n-l)T) = x_i^2(nT) \otimes h_{\text{ЦФНЧ}}(nT), \quad (2)$$

где \otimes – обозначение операции свертки; $x_i^\phi(nT)$ – сигнал на выходе ЦФНЧ.

В результате низкочастотной фильтрации формируется комплексный сигнал $x_i^\phi(nT)$ со спектром на нулевой частоте.

Ширина спектра полученного комплексного сигнала меньше частоты дискретизации, поэтому на заключительном этапе ЦФКС выполняется децимация сигнала в k_d в соответствии с формулой:

$$x_i^{\text{КО}}(nT_1) = x_i^\phi(nk_dT), \quad (3)$$

где $n = 0, 1, \dots, N_1 - 1$; N_1 – количество отсчетов КО сигнала; T_1 – период дискретизации КО сигнала.

На выходе ЦФКС получаются отсчеты квадратурных составляющих КО сигнала $x_i^{\text{КО}}(nT_1)$ с уменьшенной частотой дискретизации $F_{\text{д1}}$.

Процедура ЦФКС иллюстрируется преобразованием спектров сигнала, которые приведены на рис. 3.

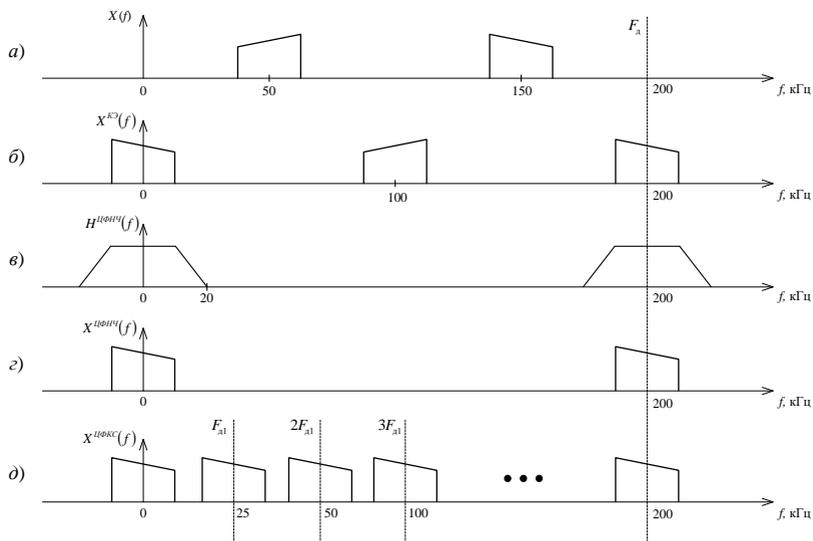


Рис. 3. Преобразование спектров сигнала при ЦФКС:

- а) спектр оцифрованного сигнала; б) спектр сигнала после умножения на экспоненту; в) АЧХ ЦФНЧ; з) спектр сигнала после фильтрации; д) спектр сигнала после децимации

Следует отметить, что выполнение процедуры ЦФКС позволяет уменьшить объем передаваемой в ПК информации. Например, при частоте дискретизации АЦП $F_{д1} = 200$ кГц и коэффициенте децимации $k_d = 8$ объем передаваемых в ПК отсчетов уменьшится в 4 раза, так как квадратурные составляющие сигнала являются комплексными (передаются реальная и мнимая части).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фирсов Ю.Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров: учеб. пособие. СПб.: Изд-во «Нестор-История», 2010. – 348 с.
2. Колосков Е.Н., Фирсов Ю.Г. Применение современных гидро-графических технологий для изучения рельефа и донного газопроявления в северных морях России. // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2015. – № 3. – С. 54–62.

3. *Фирсов Ю. Г., Кожухов И. В.* Новые методы пространственной визуализации результатов инженерной батиметрической съемки. // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2014. – № 2. — С. 17–23.

4. *Найт У.С., Придэм Р.Г., Кэй С.М.* Цифровая обработка сигналов в гидролокационных системах // ТИИЭР. – 1981. – Т. 69. – № 11. – С. 84–155.

5. *Маркович И.И.* Цифровая пространственно-временная обработка сигналов в гидроакустических системах и комплексах. Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. – С. 366–373.

6. *Маркович И.И.* Методы и алгоритмы цифровой пространственно-временной обработки гидроакустических сигналов в многолучевых эхолотах и локаторах препятствий // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – СПб: Наука, 2014. – Т. 7. – № 2. – С. 58–71.

7. *Маркович И.И.* Цифровая обработка сигналов в системах и устройствах: монография. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. – 236 с.

8. *Маркович И. И.* Реализация алгоритмов цифрового формирования квадратурных составляющих в локационных комплексах различного назначения // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2006. –№ 6. – С. 16–21.

9. *Маркович И.И.* Цифровая пространственно-временная обработка сигналов в многолучевом гидролокаторе морского подводного робототехнического комплекса // «Известия ЮФУ. Технические науки», 2019. – №1(203).– С.239–248.

10. *Гоноровский И.С.* Радиотехнические цепи и сигналы: учебное пособие для вузов. М.: Дрофа, 2006. – 719 с.

Бугаев Сергей Александрович, заместитель директора Научно-конструкторского бюро цифровой обработки сигналов Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, 347922, телефон: +7(8634) 39-30-75, e-mail: sabugaev@sfedu.ru.

Завтур Евгений Евгеньевич, начальник сектора Научно-конструкторского бюро цифровой обработки сигналов Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, 347922, телефон: +7 (8634)39-30-75; e-mail: zavtur@sfedu.ru.

Bugaev Sergey Alexandrovich, Deputy Director of the Research and Design Bureau of Digital Signal Processing of the Southern Federal University, 2 Shevchenko Str., Taganrog, 347922, Russia; phone: +7(8634) 39-30-75, email: sabugaev@sfnu.ru.

Zavtur Evgeny Evgenevich, Head of sector of the Research and Design Bureau of Digital Signal Processing of the Southern Federal University, 2 Shevchenko Str., Taganrog, 347922, Russia; phone: +7 (8634)39-30-75; e-mail: zavtur@sfnu.ru.

УДК 681.33

Удод Евгений Васильевич

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

В работе показана значимость измерения давления в современной промышленности. Описана главная проблема современных датчиков давления на основе тензорезисторов, заключающаяся в значительной зависимости их выходных характеристик от температуры измеряемой среды. Продемонстрирована невысокая точность классического подхода к преобразованию сигналов с чувствительных элементов в значения давления. Предложен новый метод использования поверхностей в пространстве давлений и температуры. Продемонстрирована эффективность предложенного метода.

Тензорезистор, датчик, давление, температурная компенсация, математическая модель.

Udod Evgeniy Vasilyevich

MATHEMATICAL MODELS FOR THE CONSTRUCTION OF TRANSFER CHARACTERISTICS OF STRAIN-RESISTANT PRESSURE SENSORS

The paper shows the importance of pressure measurement in modern industry. The main problem of modern pressure sensors based on strain gages is described, which consists in a significant dependence of their output characteristics on the temperature of the measured medium. The low accuracy of the classical approach to converting signals from sensitive elements into pressure values is demonstrated. A new method of using surfaces in the pressure and temperature space is proposed. The effectiveness of the proposed method is demonstrated.

Современное промышленное производство, транспортировка и добыча нефти и газа, воздушный, морской и наземный транспорт, системы метеопрогноза, пищевая промышленность, предприятия водоканала, ракетно-космическая отрасль, атомная энергетика в массовых количествах используют датчики давления. С помощью датчиков давления получают информацию о работе узлов и агрегатов двигателей, турбин, компрессоров, измеряют глубину водоемов и давление в скважинах, выполняют автоматическое регулирование в технологических установках на насосных станциях, контролируют расход энергоносителей в узлах учета [1-3].

Одним из наиболее распространённых видов датчиков давления являются тензорезистивные датчики давления. А одной из наиболее актуальных проблем при разработке тензорезистивных датчиков давления является решение задачи компенсации дополнительной погрешности, возникающей из-за влияния температуры, связанной со снижением чувствительности измерительного преобразователя при повышении температуры, вызванного в основном уменьшением сопротивления полупроводниковых резисторов, образующих тензомост. Так же на дополнительную температурную погрешность влияет неравномерное температурное расширение материалов, из которых построен датчик. Например, изменение температуры в диапазоне от минус 40 °С до 80 °С, может привести к изменению выходного напряжения чувствительного элемента на 36%.

Если построить зависимость реального давления (P), действующего на чувствительный элемент от показаний каналов измерения давления (U_p) и температуры (U_T), то можно увидеть сильную нелинейность на графике (рис. 1) [1-3].

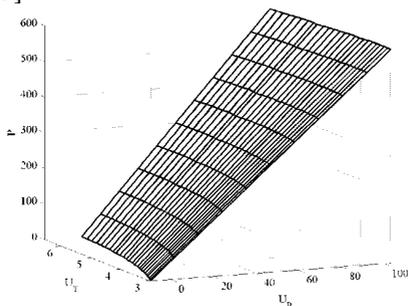


Рис. 1. Экспериментальная пространственная функция преобразования тензорезистивного датчика давления

При пересчёте сигналов, поступающих с чувствительных элементов можно использовать классическую линейную аппроксимацию пространственной функции преобразования, построенной при значении температуры соответствующем середине температурного диапазона датчика (нормальным условиям для типичного применения датчиков) давления [1-3]:

$$P = A_{\text{МБК}} + B_{\text{МБК}} U_P, \quad (1)$$

где P – давление;

U_P – выходной сигнал канала давления чувствительного элемента датчика;

$A_{\text{МБК}}$, $B_{\text{МБК}}$ – коэффициенты аппроксимации пространственной функции преобразования.

Но на практике данный метод вычислений значений давления даёт низкую (порядка 0,04%) приведённую погрешность вычислений значений давления при температуре, используемой для вычисления коэффициентов аппроксимации, и очень высокую при больших отклонениях температуры (порядка 11,96%) (рис. 2).

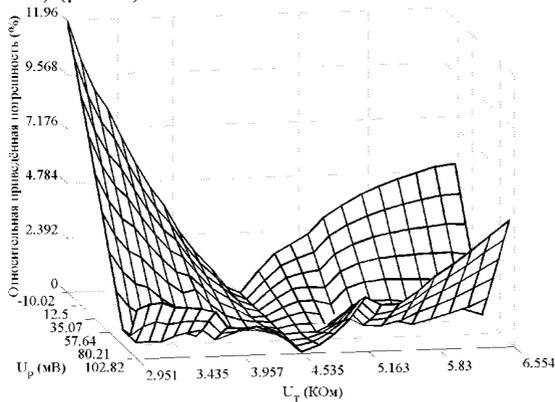


Рис. 2. Приведённая погрешность вычислений значений с использованием зависимости $P = A_{\text{МБК}} + B_{\text{МБК}} U_P$

Для вычислений значений давления с компенсацией температурной погрешности с учётом нелинейности пространственной функции преобразования (ПФП) возможно использование математической модели ПФП ЧЭ рассматривать в виде системы локальных поверхностей, описанных функцией [1-3]:

$$P = f_{iC}(U_P, U_T). \quad (2)$$

Эти локальные поверхности (Π_{UT}^q, Π_{UT}^m) перекрываются на границах, то есть $\Pi_{UT}^q \cap \Pi_{UT}^m = \Pi_{UT}^{qm} \neq 0$. Перекрытие границ снимает неопределенность при принятии решения о принадлежности к той или другой области сигналов каналов давления (U_{Pj}) и температуры (U_{Tj}), если значения этих сигналов формально принадлежат границе этих областей $U_{Pj}, U_{Tj} \in \Pi_{UT}^{qm}$.

Разбиение ПФП на локальные поверхности можно проводить как по давлению, так и по температуре. Построенная таким образом система локальных пространственных элементов является аппроксимацией экспериментальной пространственной функции преобразования тензорезистивного чувствительного элемента.

При построении модели пространственной функции преобразования для всей рабочей области датчика давления область $P \times T$ значений давления и температуры, при которых проводились испытания ЧЭ, делится на несколько областей. Число областей $G_{P\alpha}$ по давлению обозначим N_P ($\alpha = 1, N_P$), число областей $G_{T\beta}$ по температуре – N_T ($\beta = 1, N_T$).

Каждой полученной области $\Pi_{\alpha\beta} = G_{P\alpha} \cup G_{T\beta}$, где $\alpha=1 \dots N_P$, $\beta=1 \dots N_T$ соответствует массив экспериментальных точек $\{M_k^{\alpha\beta}(P_k, U_{P_k}, U_{T_k})\}_{k=1}^{n_{\alpha\beta}}$.

На основе этих данных для области возможных значений электрических сигналов $U_P \times U_T$ формируются подобласти $\Pi_{U\alpha\beta} = G_{UP\alpha} \cup G_{UT\beta}$, где $G_{UT\beta}$ – область изменения сигнала U_T , соответствующая области изменения температуры $G_{T\beta}$;

$G_{UP\alpha}$ – область изменения сигнала U_P , соответствующая области изменения давления $G_{P\alpha}$ при условии $U_T \in G_{T\beta}$.

Для каждой подобласти $\Pi_{U\alpha\beta}$, где $\alpha=1 \dots N_P$, $\beta=1 \dots N_T$ вычисляются коэффициенты аппроксимации локальных пространственных элементов $\Omega_{U\alpha\beta}$, аппроксимирующие пространственную функцию преобразования датчика на области определения $\Pi_{U\alpha\beta}$.

Для построения $\Omega_{U\alpha\beta}$ вместо выражения (2) используются различные функциональные соотношения, определяющие линейные и нелинейные пространственные элементы. Например:

1. Плоскости, описываемы выражением (МЛК) [1-3]:

$$P_{ij} = A_{МЛК_{\alpha\beta}} + B_{МЛК_{\alpha\beta}} U_{P_{ij}} + C_{МЛК_{\alpha\beta}} U_{T_{ij}} \quad \text{при } \bar{i} = 1 \dots N_P, \bar{j} = 1 \dots N_T. \quad (3)$$

2. Параболические поверхности, описываемы выражением (МПК):

$$\left. \begin{aligned} P_{\bar{i}\bar{j}} &= A_{МПК_{\alpha\beta}} + B_{1МПК_{\alpha\beta}} U_{P_{\bar{i}\bar{j}}} + B_{2МПК_{\alpha\beta}} U_{P_{\bar{i}\bar{j}}}^2 \\ A_{МПК_{\alpha\beta}} &= \gamma_{00_{\alpha\beta}} + \gamma_{01_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{i}\bar{j}}} + \gamma_{02_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{i}\bar{j}}}^2, \\ B_{1МПК_{\alpha\beta}} &= \gamma_{10_{\alpha\beta}} + \gamma_{11_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{i}\bar{j}}} + \gamma_{12_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{i}\bar{j}}}^2, \\ B_{2МПК_{\alpha\beta}} &= \gamma_{20_{\alpha\beta}} + \gamma_{21_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{i}\bar{j}}} + \gamma_{22_{\alpha\beta}} U_{T_{\bar{i}\bar{j}}}^2, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $\bar{i} = 1 \dots \bar{N}_P$ – номер экспериментальной точки по давлению при фиксированной температуре, принадлежащей текущей области разбиения,

\bar{N}_P – число экспериментальных точек при фиксированной температуре;

$\bar{j} = 1 \dots \bar{N}_T$ – номер экспериментальной точки по температуре при фиксированном давлении, принадлежащей текущей области разбиения ПФ

\bar{N}_T – количество экспериментальных точек при фиксированном давлении;

$P_{\bar{i}\bar{j}}$ – экспериментальное значение давления, принадлежащие текущей области разбиения ПФП чувствительного элемента (ЧЭ);

$U_{P_{\bar{i}\bar{j}}}$ – экспериментальное значение сигнала канала давления, принадлежащие текущей области разбиения ПФП ЧЭ;

$U_{T_{\bar{i}\bar{j}}}$ – экспериментальное значение температуры, принадлежащие текущей области разбиения ПФП ЧЭ;

$A_{МЛК_{\alpha\beta}}, B_{1МЛК_{\alpha\beta}}, B_{2МЛК_{\alpha\beta}}$ – коэффициенты аппроксимации для текущей области разбиения ПФП ЧЭ.

$A_{МПК_{\alpha\beta}}, B_{1МПК_{\alpha\beta}}, B_{2МПК_{\alpha\beta}}$ – коэффициенты аппроксимации для текущей области разбиения ПФП ЧЭ.

Рассмотрим порядок применения моделей ПФП ЧЭ для вычислений значений давления с компенсацией температурной погрешности

Использование модели вычислений значений давления с компенсацией температурной погрешности осуществляется следующим образом:

1. Исходными физическими сигналами являются давление P_k и температура T_k . Им соответствуют значения электрических сигналов канала давления U_{Pk} и канала температуры U_{Tk} .

2. По известным значениям электрических сигналов U_{Pk} и U_{Tk} и разбиении всей области определения электрических сигналов находится текущая область ПФП ЧЭ.

- 2.1. Определяется номер области по температуре ($\bar{\beta}$), которой принадлежит текущее значение сигнала канала температуры ($U_{Tj} \in \Pi_{\alpha\beta}$).
- 2.2. Используя найденный номер области разбиения ПФП ЧЭ по температуре ($\bar{\beta}$), находится номер области ($\bar{\alpha}$), которой принадлежит текущее значение сигнала канала давления ($U_{pj} \in \Pi_{\alpha\beta}$).
3. Таким образом, зная область разбиения ПФП ЧЭ, которой принадлежат текущие значения сигналов каналов давления и температуры выбираются заранее рассчитанные коэффициенты аппроксимации.
4. Вычисляется давление по выбранному полиному (5) или (6) используя коэффициенты аппроксимации, принадлежащие области $\Pi_{\bar{\alpha}\bar{\beta}}$

Для анализа эффективности предложенной модели построены модели в математической системе MATLAB, которые показали, что наибольшее влияние на погрешность вычислений значений давления оказывают размеры локальных пространственных элементов по температуре, но и разбиение пространственной функции преобразования по давлению приводит к дополнительному снижению температурной погрешности.

Отметим, что, так как сигналы каналов давления и температуры содержат основную погрешность, необходимо произвести оценку влияния погрешности исходных данных на точность вычислений значений давления. На рис. 3 приведена зависимость погрешности вычислений значений давления МЛК от абсолютной величины амплитуды погрешности сигналов канала давления и температуры.

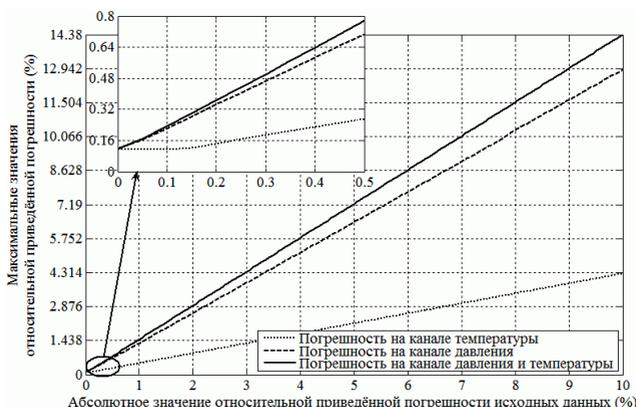


Рис. 3. Зависимость погрешности вычислений значений давления от погрешности исходных данных для МЛК

На рис. 4 показана зависимость погрешности вычислений значений давления МПК от абсолютной величины амплитуды погрешности исходных данных.

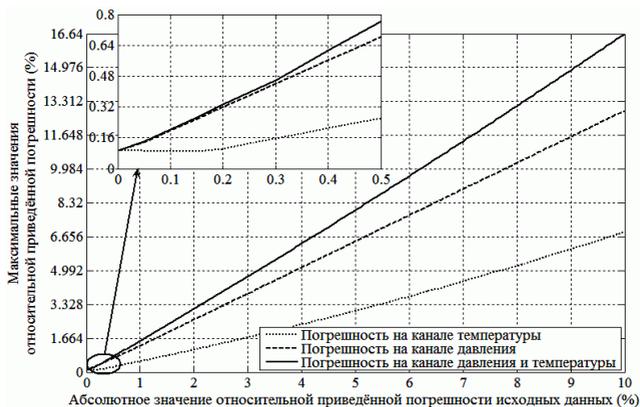


Рис. 4. Зависимость погрешности вычислений значений давления от погрешности исходных данных для МПК

На рис. 3, рис. 4 показано, что погрешность вычислений значений давления при изменении температуры во всём рабочем диапазоне датчика и корректно выбранных размерах локальных пространственных элементов, будет в 1,5 – 1,6 раза выше, чем погрешность входных сигналов. Отмечено, что наименьшую погрешность вычислений значений давления позволяет получить использование модели вычислений значений давления с компенсацией температурной погрешности, построенной на основе применения параболических пространственных элементов.

Таким образом, по полученным результатам можно заключить, что применение предложенных моделей вычислений значений давления с компенсацией температурной погрешности позволяет значительно снизить суммарную погрешность вычислений значений давления, даже при применении чувствительных элементов с довольно высокой основной погрешностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник - Москва: Техносфера, 2005. - 592 с.

2. Пьявченко О.Н., Мокров Е.А., Панич А.Е., Клевцов С.И., Пьявченко А.О., Удод Е.В., Федоров А.Г. Методы, модели, алгоритмы и архитектура прецизионных интеллектуальных датчиков давления //Под ред. д.т.н. профессора О.Н. Пьявченко. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 130 с.

3. Клевцов С.И., Удод Е.В. Пространственная плоскостная модель градуировочной характеристики интеллектуального датчика давления // Известия ТРТУ. 2005. –№1. – С.99-107.

Удод Евгений Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры встраиваемых и радиоприёмных систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон: +7(863) 218-40-00 доб.30119, email: evudod@sfedu.ru.

Udod Eugene Vasilevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor of embedded and radio receiving systems Southern Federal University, 347922, Russia, Taganrog, Nekrasovsky lane, 44, phone+7(863) 218-40-00 add.30119, email: evudod@sfedu.ru.

УДК 004.89

Волошук Вадим Игоревич, Козловская Мария Алексеевна,
Матвиенко Александр Сергеевич

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ

Целью данной работы является разработка программного модуля, использующего методы машинного обучения для решения задач прикладной фотограмметрии. В рамках исследования были поставлены следующие задачи: анализ существующих методов машинного обучения в фотограмметрии, разработка алгоритмов для обработки и интерпретации фотограмметрических данных, а также их внедрение в программный модуль. Проведенные эксперименты подтвердили эффективность предложенных решений в повышении точности и скорости обработки данных. Полученные результаты демонстрируют перспективы использования машинного обучения для автоматизации фотограмметрических процессов и повышения их производительности.

Фотограмметрия, машинное обучение, алгоритм, программный модуль, обработка данных, интерпретация данных, автоматизация, точность, производительность, эксперимент.

Voloshchuk Vadim Igorevich, Kozlovskaya Maria Alekseevna,
Matveenko Alexander

DEVELOPMENT OF A PROGRAM MODULE USING MACHINE LEARNING METHODS FOR SOLVING PROBLEMS OF APPLIED PHOTOGRAMMETRY

The purpose of this work is to develop a program module using machine learning methods to solve problems of applied photogrammetry. Within the framework of the research the following tasks were set analysis of existing machine learning methods in photogrammetry, development of algorithms for processing and interpretation of photogrammetric data, as well as their implementation in the program module. The conducted experiments confirmed the effectiveness of the proposed solutions in improving the accuracy and speed of data processing. The obtained results demonstrate the prospects of using machine learning to automate photogrammetric processes and increase their productivity.

Photogrammetry, machine learning, algorithm, software module, data processing, data interpretation, automation, accuracy, performance, experiment.

Фотограмметрия представляет собой область знаний, охватывающую методы получения точных данных о физических объектах и их окружении через запись, измерение и анализ фотографических изображений. Методы фотограмметрии применяются в различных научных и технических дисциплинах, таких как геодезия, картография, архитектура и биология [1-2]. Современные задачи фотограмметрии требуют обработки больших объемов данных с высокой точностью и оперативностью. Для их решения используются передовые технологии, включая методы машинного обучения, которые способствуют повышению эффективности и качества обработки данных.

Цель данного исследования – разработка программного модуля, использующего методы машинного обучения для решения задач прикладной фотограмметрии. В рамках исследования решались следующие задачи:

1. Анализ существующих методов машинного обучения в фотограмметрии.
2. Разработка алгоритмов для обработки и интерпретации фотограмметрических данных.
3. Внедрение разработанных алгоритмов в программный модуль.
4. Оценка эффективности предложенных решений на основе экспериментальных данных.

Анализ существующих методов машинного обучения, применяемых в фотограмметрии, показал, что методы глубокого обучения, включая нейронные сети различных архитектур, такие как сверточные и рекуррентные нейронные сети и их гибриды, являются перспективными [3-5]. Сверточные нейронные сети используются для распознавания и сегментации [6] изображений, что делает их применимыми в фотограмметрии. Также рассматриваются линейные методы, которые могут быстрее решать поставленные задачи. К наиболее актуальным из них относятся:

- Морфологические методы.
- Методы фильтрации.
- Методы выделения ключевых точек.
- Методы сегментации.

Разработка алгоритмов обработки и интерпретации фотограмметрических данных основана на применении сверточных нейронных сетей для анализа изображений, а также вышеупомянутых методов. Основные этапы разработки алгоритмов включают предварительную обработку данных, обучение модели и оценку ее производительности.

Обучение модели осуществляется на большом наборе фотограмметрических данных с использованием методов обратного распространения ошибки и градиентного спуска [7-8]. Математическая формулировка обучения модели представлена следующей формулой:

$$L(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l(f(x_i, \theta), y_i) \quad (1)$$

где $L(\theta)$ — функция потерь, N — количество обучающих примеров, x_i и y_i — входные данные и метки соответственно, l — функция ошибки, $f(x_i, \theta)$ — предсказание модели с параметрами (θ) .

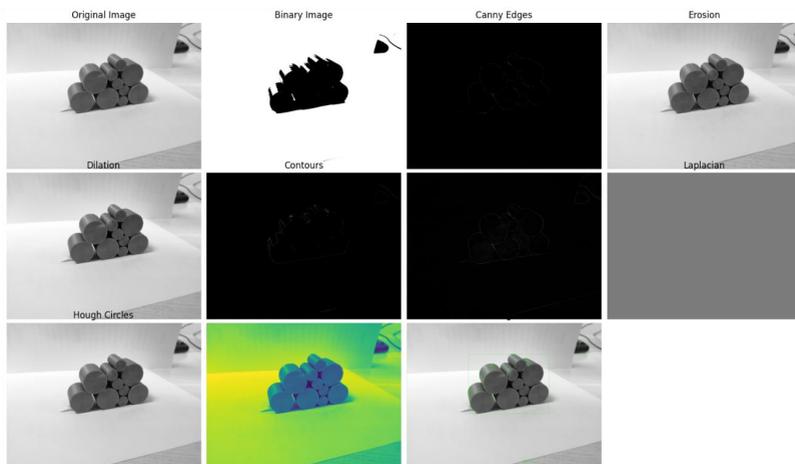


Рис. 1. Используемые методы фотограмметрии

Программная реализация алгоритмов

Разработанные алгоритмы были интегрированы в программный модуль, представляющий собой комплекс программных средств для обработки фотограмметрических данных. Программный модуль включает интерфейс для загрузки изображений [], модуль обработки данных и модуль визуализации результатов. Обработка данных осуществляется в несколько этапов, что представлено на рис.2.

Эффективность предложенных решений была оценена на основе экспериментальных данных, включающих различные наборы фотограмметрических изображений. Результаты экспериментов показали повышение точности и скорости обработки данных по сравнению с традиционными методами. Для количественной оценки производительности использовались такие метрики, как точность (Accuracy), полнота (Recall), точность предсказания (Precision) и F-мера.

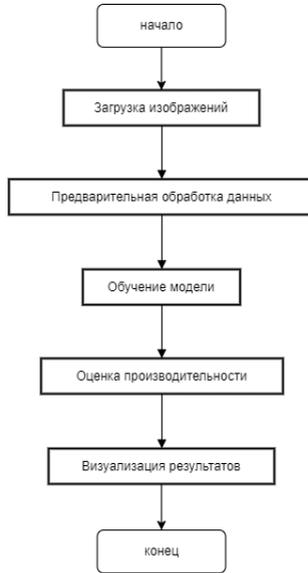


Рис. 2. Блок-схема обработки данных

Таблица 1

Полученные метрики в результате работы алгоритма

Метрика	Значение
Точность	95.4%
Полнота	93.7%
Точность	94.5%
F-мера	94.1%

Визуализация результатов

Для наглядной демонстрации работы программного модуля был разработан интерфейс с использованием библиотеки Kivy. Интерфейс позволяет пользователю загружать изображения, выполнять анализ, измерять расстояния и визуализировать результаты [9-10].

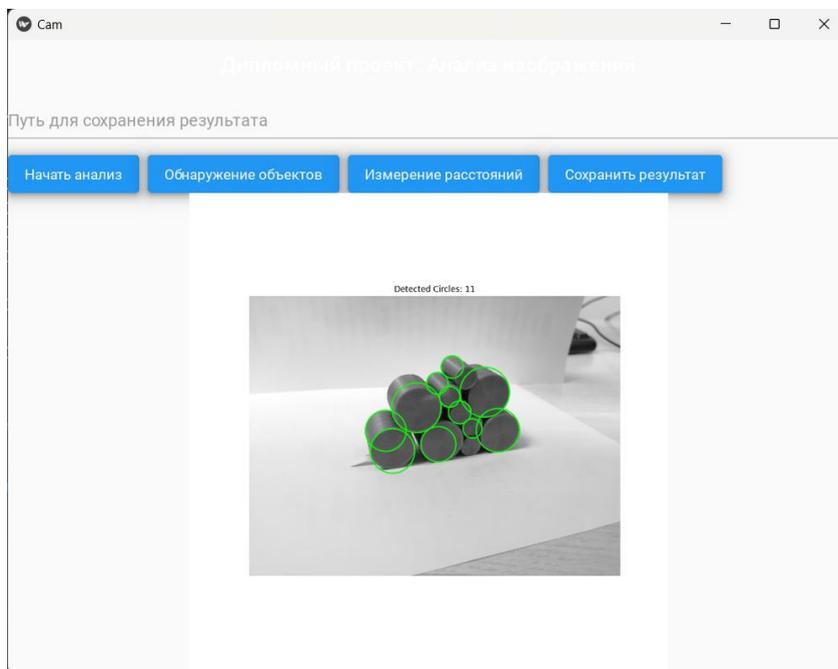


Рис. 3. Программная реализация модуля на основе методов машинного обучения

Выводы

Проведенное исследование показало, что использование методов машинного обучения, в частности сверточных нейронных сетей, улучшает процессы обработки и интерпретации фотограмметрических данных. Были решены задачи подсчета объектов на изображении, улучшения качества изображений, фильтрации артефактов на изображениях. Разработанный программный модуль продемонстрировал высокую эффективность в реальных условиях, обеспечивая автоматизацию фотограмметрических процессов и повышение их производительности. Полученные результаты создают новые возможности для дальнейшего развития и применения машинного обучения в фотограмметрии.

Исследование выполнено в рамках гранта № 4L/22-04-ПИШ СТУД 12.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волощук В. И., Лищенко Е. В., Козловская М. А. // Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2023) : Сборник трудов XXI Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Таганрог, 23–25 ноября 2023 года. – Таганрог: ДиректСайнс (ИП Шкуркин Д.В.), 2023. – С. 39-43.
2. Мельник Э. В., Козловский А. В., Переверзев В. А. Интеллектуальная система бесконтактного биологического мониторинга и прогнозирования для водных экосистем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 2. – С. 103-110. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-2-103-110.
3. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: An overview // Neural Networks, 2015.
4. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks // Advances in Neural Information Processing Systems, 2012.
5. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.
6. Long J., Shelhamer E., Darrell T. Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015.
7. Simonyan K., Zisserman A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition // International Conference on Learning Representations (ICLR), 2015.
8. Girshick R., Donahue J., Darrell T., Malik J. Region-based Convolutional Networks for Accurate Object Detection and Segmentation // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2016.
9. Онищенко С. В., Козловский А. В., Мельник Э. В. Разработка бесконтактной системы измерения геометрических параметров объектов на изображении // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 9. – С. 177-182. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-9-177-182.
10. Онищенко С. В., Козловский А. В., Мельник Э. В. Разработка высокопроизводительного метода определения геометрических параметров объектов на изображении // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2022. – № 5(229). – С. 86-97. – DOI 10.18522/2311-3103-2022-5-86-97.

Волощук Вадим Игоревич, техник-проектировщик ПИШ ЮФУ, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский 44, телефон: 8(8634)37-16-56, email: vvoloshchuk@sfedu.ru

Козловская Мария Алексеевна, инженер ПИШ ЮФУ, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский 44, телефон: 8(8634)37-16-56, email: arhipenko@sfedu.ru.

Матвиенко Александр Сергеевич, аспирант ИКТИБ, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский 44, телефон: 8(8634)37-16-56, email: almat@sfedu.ru.

Voloshchuk Vadim Igorevich, Project Technician, NSP SFU, Russia, Taganrog city, Nekrasovsky Lane 44, phone: 8(8634)37-16-56, e-mail: vvoloshchuk@sfedu.ru.

Kozlovskaya Maria Alekseevna, Engineer, NSP SFU, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane 44, phone: 8(8634)37-16-56, e-mail: arhipenko@sfedu.ru.

Matvienko Alexander, PhD student of ICTIB, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane 44, phone: 8(8634)37-16-56, e-mail: almat@sfedu.ru.

УДК 004.42:796

Кравченко Элеонора Николаевна, Леонова Антонина Валериевна,
Шпаковская Оксана Юрьевна

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ МЭМС ТЕХНОЛОГИЙ

Аппаратно-программный комплекс на основе МЭМС технологий, который позволяет проводить анализ движений человека, в частности спортсменов для оценки и улучшения физической активности и их спортивной подготовки. Позволяет проводить точный и детальный анализ движений человека в режиме реального времени. Система оснащена специальными сенсорами, которые фиксируют движения тела человека во время выполнения различных упражнений и заданий. По результатам анализа система выдает данные о качестве движений, уровне координации, гибкости и силы мышц, что помогает пользователям проводить более эффективную самодиагностику и разработку индивидуальных программ тренировок.

Анализ движений человека, шагомер, физическая активность, спорт, МЭМС технологии.

Kravchenko Eleonora Nikolaevna, Leonova Antonina Valerevna,
Shpakovskaya Oksana Yrievna

DEVELOPMENT OF A MODEL OF A MOBILE SYSTEM FOR ANALYZING HUMAN MOVEMENTS BASED ON MEMS TECHNOLOGIES

The purpose of this study is to develop a system based on MEMS technologies that allows the analysis of human movements, in particular athletes. The system is an innovative human movement analysis system designed to evaluate and improve physical activity and athletic training. It combines advanced technologies and software that allows for accurate and detailed analysis of human movements in real time. The system is equipped with special sensors that record the movements of the human body during various exercises and tasks. Based on the results of the analysis, the system provides data on the quality of movements, the level of coordination, flexibility and muscle strength, which helps users to conduct more effective self-diagnosis and develop individual training programs.

Physical activity, sports, MEMS technologies.

Введение

Мобильная система анализа движений человека, разработанная на базе МЭМС технологий, оснащена сенсорами и датчиками, которые предоставляют данные о качестве движений, координации и силе мышц. Предназначена для улучшения качества тренировок спортсменов и любителей спорта, оценки их физической активности, повышения безопасности тренировок в следствие предупреждения чрезмерных нагрузок и фиксации опасных состояний тренирующегося.

Основная часть

Система анализа движений человека представляет собой аппаратно-программный комплекс, который состоит из двух блоков: первый крепится на поясе человека, второй - на голень либо бедро. Во время занятия система анализирует физическое состояние человека: проводится анализ перемещений туловища по 6 осям и оценивается движение шага, качественные характеристики шага, а также количество пройденных шагов. Спортсмен может в режиме реального времени проводить самостоятельно анализ своего физического состояния, контролировать положения корпуса и нижних конечностей, благодаря чему упражнения будут выполняться правильно, а также качественно, и снизится риск возникновения травм во

время тренировок. Полученная с датчиков информация поступает в блок обработки и после этого данные передаются на телефон и отображаются в приложении. Все компоненты системы связаны беспроводной связью, например, блютуз. Структурная схема модели мобильной системы анализа движений человека показана на рис. 1.

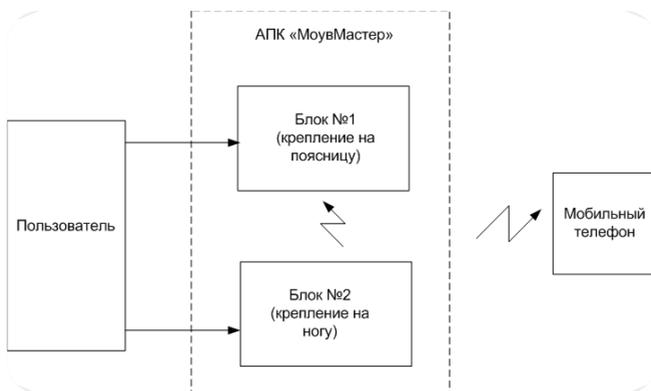


Рис. 1. Структурная схема системы анализа движений человека

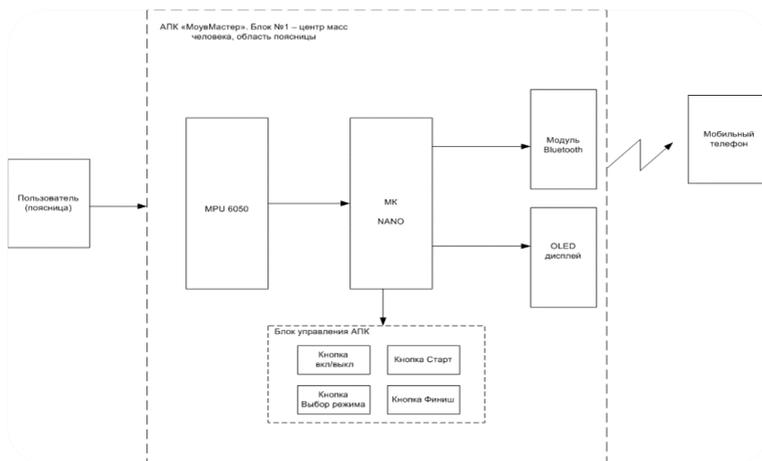


Рис. 2. Схема блок №1

Блок №1 крепиться на поясницу включает в себя: гироскоп MPU-6050 [3], микроконтроллер, дисплей, модуль блютуз и блок управления, состоящий из 4 кнопок – старт, финиш, вкл/выкл и выбор режима.

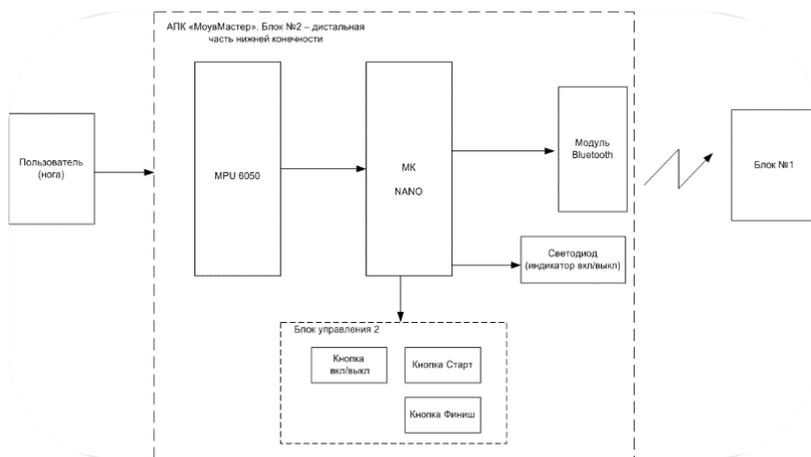


Рис. 3. Схема блок №2

Блок №2 имеет аналогичную Блоку №1 схему, однако вместо дисплея находится светодиод, подтверждающий о включенном состоянии устройства и связь с блоком 1.

Принцип работы алгоритма исследования шагов:

Одной из функции системы является качественный и количественный анализ шага человека, который производится на основе акселерометра, измеряющий отрицательное ускорение тела в момент соприкосновения ступни с землей [2]. По анализу этих изменений формируется волна сигнала (рис. 4), по которой устанавливаются параметры шага, такие как пороговое значение амплитуды и период шага.

Акселерометр в начале анализа непрерывно обновляет максимальное и минимальное значения ускорения по осям X, Y и Z после определенного количества шагов. Потом вычисляется динамическое пороговое значение — это среднее значение трех осей $((Max + Min) / 2)$ для каждого отсчета шага. Затем сравнивается текущее значение ускорения с динамическим пороговым значением. Первые пороговые значения — это значения максимумов осей, когда человек поднял ногу, вторые – минимумов, то есть, когда человек опустил на ногу на землю. Если текущее значение превышает

пороговое, то считается, что произошло значительное изменение ускорения, что говорит о сделанном шаге. Определяется ось, вдоль которой произошли наибольшие изменения ускорения, и считается этот шаг вдоль данной оси. Общее количество подсчитывается на основе выполненных шагов вдоль различных осей ускорения.

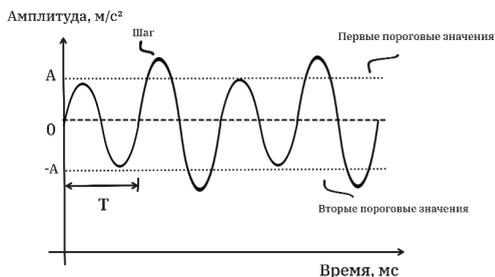


Рис. 4. График изменения ускорения

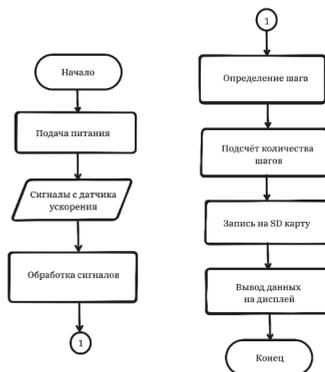


Рис. 5. Алгоритм выделения шагов из данных инерциального датчика

Используется датчик MPU-6050 [4] (рисунок 6), который объединяет в себе акселерометр для измерения линейных ускорений, и гироскоп - угловых скоростей. Совместное их использование позволяет более точно определить изменение движения тела в трёхмерном пространстве [5]. Полный набор данных включает в себя данные 3-осевого гироскопа, 3-осевого акселерометра и о температуре. Может также включать данные с цифрового 3-осевого стороннего магнитометра.

Выводы

Здоровый образ жизни требует активности, которая часто падает из-за неблагоприятных факторов среды и стресса. Это вредит здоровью, снижая стрессоустойчивость и ухудшая кровообращение [6]. Многочисленные работы [7-10] подтверждают актуальность проблемы, посвященной анализу движений человека. Регулярные тренировки, помогают поддерживать здоровой образ жизни, рассмотренный выше аппаратно-программный анализа движений человека на основе МЭМС технологий поможет в отслеживании самочувствия, упростит процесс тренировки, повысит эффек-

тивность, снизит риск возникновения травм и перегрузок, других негативных состояний, позволит проводить объективный анализ тренировок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Многие россияне занимаются спортом неправильно, нанося себе вред // Ведомости URL: <https://www.vedomosti.ru/lifestyle/articles/2014/11/14/mnogie-rossiyane-zanimayutsya-sportom-nepravilno-nanosya> (дата обращения: 06.05.2024).
2. Асада Юдзи (JP), Хасино Кендзи (JP). Шагомер // Патент №2459181. 20.08.2012. Бюл. № 23.
3. Обзор продукта MPU - 60X0 // URL: http://pro-interes.com/wp-content/uploads/2019/12/MPU-6050_rus.pdf (дата обращения: 02.05.2024).
4. Акселерометр и гироскоп mpu6050: первое включение на stm32 и исследование показаний в статике // Cyberleninka URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/akselerometr-i-giroskop-mpu6050-pervoe-vklyuchenie-na-stm32-i-issledovanie-pokazaniy-v-statike/viewer> (дата обращения: 04.05.2024).
5. Работа с Arduino и MPU6050 // Alexgyver URL: https://alexgyver.ru/arduino-mpu6050/#Arduino_и_датчик_MPU6050_ (дата обращения: 05.05.2024).
6. *Салахова Н. О.* Применение IT-технологий в проведении занятий студенческих групп лечебной физической культуры и специальных медицинских групп // «Науки о здоровье». - Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия: Казанский вестник молодых учёных, 2019
7. Анализ характеристик цикла шага человека при движении по беговой дорожке с различной скоростью Фомина Е.Е., Косухина О.И., Леонов С.В., Власюк И.В. Дальневосточный медицинский журнал. 2023. № 2. С. 52-57.
8. К фазовому анализу ходьбы и некоторых ритмических движений человека Витензон А.С., Петрушанская К.А. Российский журнал биомеханики. 2005. Т. 9. № 1. С. 19-35.
9. Биомеханический анализ координации позы и движения у стоящего человека при наклонах корпуса в сагиттальной плоскости Александров А.В., Фролов А.А. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2017. Т. 67. № 1. С. 33-48.
10. Проблематика анализа и измерения движений человека в спорте Кузнецов А.О. Физическая культура студентов. 2010. № 59. С. 98-99.

Кравченко Элеонора Николаевна – студентка колледжа прикладного профессионального образования при институте радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, ул. Шевченко, 2, ул. Чехова, 2 корпус К, Таганрог, Ростовская обл., 347000, телефон: +7 (991) 078-40-52, email: ekravchen@sfedu.ru.

Леонова Антонина Валериевна – доцент кафедры встраиваемых и радиоприемных систем института радиотехнических систем и управления Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; 347928; телефон: + 7(904) 346-79-91, email: leonova@sfedu.ru.

Шпаковская Оксана Юрьевна – аспирант кафедры систем автоматического управления, заведующая лабораторией кафедры встраиваемых и радиоприемных систем Института радиотехнических систем и управления Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; 347928; телефон: + 7 (961) 292-85-15, email: oshpakovskaya@sfedu.ru.

Kravchenko Eleonora Nikolaevna – student of the College of Applied Professional Education at the Institute of Radio Engineering Systems and Management of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Shevchenko str., 2, Chekhov str., 2 building K, Taganrog, Rostov region, 347000, phone: +7 (991)078-40-52, email: ekravchen@sfedu.ru.

Leonova Antonina Valerevna – Associate Professor of the Department of Embedded and Radio Receiving Systems of the Institute of Radio Engineering Systems and Management Federal State Educational Institution of Higher Education "Southern Federal University", Russia, Taganrog, trans. Nekrasovsky 44; 347928; phone: +7(904)346-79-91, email: leonova@sfedu.ru.

Shpakovskaya Oksana Yrievna – postgraduate student of the Department of Automatic Control Systems, Head of the Laboratory of the Department of Embedded and Radio Receiving Systems of the Institute of Radio Engineering Systems and Management Federal State Educational Institution of Higher Education "Southern Federal University", Russia, Taganrog, lane. Nekrasovsky, 44; 347928; phone: +7(961)292-85-15, email: oshpakovskaya@sfedu.ru.

УДК [004.032]

Гушанский Сергей Михайлович, Потапов Виктор Сергеевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СЖАТИЯ И РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Статья посвящена разработке и исследованию квантовой нейронной сети для задач сжатия и восстановления изображений. В современных условиях постоянно возрастающего объема визуальной информации эффективные методы сжатия и восстановления изображений играют ключевую роль. В данной работе предлагается инновационный подход, основанный на использовании квантовых вычислений и нейронных сетей, что позволяет значительно повысить эффективность процессов сжатия и восстановления изображений. В статье рассматриваются основные принципы и методы построения квантовых нейронных сетей, а также их применение в задачах обработки изображений. Проведен сравнительный анализ традиционных методов сжатия изображений и предложенного квантового подхода, что позволяет выявить преимущества и недостатки каждого метода. Для реализации квантовой нейронной сети используются современные квантовые алгоритмы и библиотеки, такие как Qiskit и PennyLane. Результаты экспериментов демонстрируют, что квантовая нейронная сеть способна обеспечить более высокую степень сжатия изображений без значительной потери качества по сравнению с классическими методами. Также предложенная модель показала высокую точность восстановления изображений, что подтверждает перспективность использования квантовых нейронных сетей в данной области.

Квантовая нейросеть; квантовый алгоритм; кубит; модель квантового вычислителя; квантовое запутывание; суперпозиция; квантовый параллелизм.

Gushansky Sergey Mikhailovich, Potapov Viktor Sergeevich

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF QUANTUM NEURAL NETWORK FOR IMAGE COMPRESSION AND RECONSTRUCTION

The article is devoted to the development and research of a quantum neural network for problems of image compression and restoration. In modern conditions of the ever-increasing volume of visual information, effective methods of image compression and restoration play a key role. This work proposes an innovative approach based on the use of quantum computing and neural networks, which can significantly increase

the efficiency of image compression and restoration processes. The article discusses the basic principles and methods of constructing quantum neural networks, as well as their application in image processing problems. A comparative analysis of traditional image compression methods and the proposed quantum approach has been carried out, which makes it possible to identify the advantages and disadvantages of each method. Modern quantum algorithms and libraries, such as Qiskit and PennyLane, were used to implement a quantum neural network. Experimental results demonstrate that a quantum neural network is capable of achieving a higher degree of image compression without significant loss of quality compared to classical methods. Also, the proposed model showed high accuracy of image restoration, which confirms the promise of using quantum neural networks in this area.

Quantum neural network; quantum algorithm; qubit; quantum computer model; quantum entanglement; superposition; quantum parallelism.

Введение

Квантовая сеть – это новый тип сетевой структуры, которая использует принципы квантовой механики для передачи и обработки информации. По сравнению с классическими алгоритмами реконструкции данных квантовые сети делают реконструкцию изображений более эффективной и точной. Они также могут обрабатывать более сложную информацию изображения, используя меньшее количество битов и более быстрые параллельные вычисления. Поэтому в этой статье будут обсуждаться методы реконструкции изображений на основе нашей квантовой сети и исследоваться их потенциальное применение при обработке изображений. Представим базовую структуру квантовой сети, процесс сжатия и реконструкции изображений, а также конкретный метод обучения параметров. Алгоритм сжатия и восстановления изображений на основе квантовой сети разработан путем объединения классического алгоритма сжатия и восстановления изображений [1] с квантовым алгоритмом [2]. Во-первых, классическая информация об изображении кодируется в квантовые состояния (квантовая информация) [3]. Затем подготовленные квантовые состояния вводятся в сеть квантового сжатия и реконструкции, что достигается с помощью оптических схем [4]. В процессе измерения выходное состояние сети квантового сжатия и выходное состояние сети квантовой реконструкции соответственно. Затем измерения преобразуются в сжатое изображение и реконструированное изображение, которые используются для обучения параметров квантовой сети на основе алгоритма градиентного спуска. Наконец, этот квантовый

алгоритм эффективно реализует моделирование сжатия и реконструкции изображений в оттенках серого. Обсуждается применение и тенденции развития этого алгоритма в цифровой обработке изображений [5]. Объединение обработки изображений и квантовых вычислений способствовало развитию технологий цифровой обработки изображений.

1. Кодирование изображений в квантовые состояния

Для изображений или общих классических данных матрица данных может быть преобразована в N-мерный вектор-строку X. Согласно

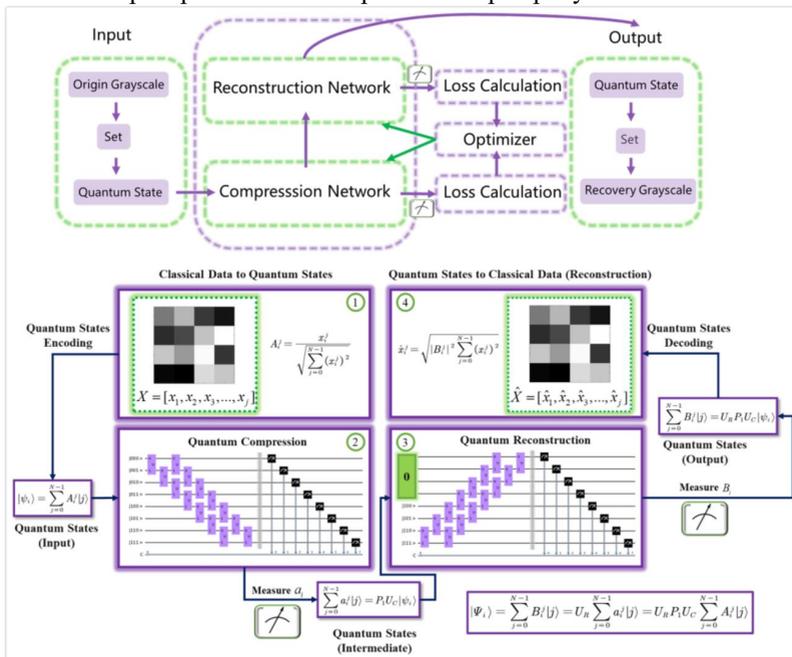


Рис. 1. Сжатие и реконструкция изображений на основе квантовой сети [6]

Кодирование классических данных изображения x_i в амплитуды вероятности A_j квантовых состояний ψ_i . (2) Введите подготовленные квантовые состояния ψ_i в сеть сжатия UC, чтобы получить квантовые состояния в нижнем d-мерном пространстве. В этом процессе измеряются выходные состояния в UC, градиент параметра рассчитывается на основе функции потерь, а оптимизатор возвращает оптимальные параметры в UC. (3) Введите квантовые состояния в d-мерном пространстве в сеть реконструкции UR, чтобы получить выходные состояния Ψ_i в многомерном пространстве.

Процесс обучения параметров в UR такой же, как и в UC. ④ Вероятность V_j выходных состояний в сети реконструкции преобразуется в классические данные изображения x_i для реализации реконструкции изображения.

2. Сжатие изображений на основе квантовой сети

Сжатие и реконструкция изображений на основе квантовой сети разделены на две независимые сети, которые можно представить как сеть квантового сжатия UC и сеть квантовой реконструкции UR соответственно, как показано на рис. 1. Целью сети сжатия является сжатие запутанных состояний в d -мерное гильбертово пространство с достаточно высокой точностью ориентации для достижения сжатия квантовых состояний. Цель сети реконструкции состоит в том, чтобы реконструировать квантовые состояния d -мерного гильбертова пространства в N -мерное гильбертово пространство, делая при этом точность состояний слишком близкой к 100%.

3. Реконструкция изображения на основе квантовой нейронной сети

Процесс реконструкции может быть противоположным процессу сжатия. В частности, сеть реконструкции UR может представлять собой комбинацию квантовых вентилях в сети сжатия, которые подключены в обратном порядке, поэтому параметры сети необходимо переобучить. Это связано с тем, что обратная матрица U^{-1} сети сжатия UC может использоваться непосредственно в качестве сети реконструкции UR ($UR = U^{-1}$) только тогда, когда ошибка сжатой сети мала. Когда ошибки не почти равны нулю, переобученная реконструированная сеть более применима. Ее схемная структура является гибкой, что позволяет легко создавать сложные квантовые схемы и реализовывать масштабируемость квантовых вычислений. Идеальный многопортовый оптический интерферометр без потерь используется для преобразования между N -мерными векторными пространствами, которые можно описать унитарным $N \times N$.

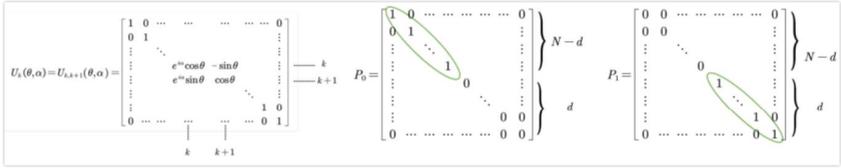


Рис. 2. Квантовые вентили: U_k , P_1 , P_0 . U_k – квантовый вентиль, P_1 и P_0 – преобразование проекции для сжатия

Комбинированный квантовый вентиль U представляет собой полное гомогенное преобразование всех кубитов, а $U(k, k+1)$ представляет собой квантовый вентиль преобразования k -го и векторные пространства. Для преобразования всех кубитов требуется интерферометр. Алгоритм градиентного спуска (GD) используется для обучения и обновления параметра θ [7] для обновления параметров. Далее предлагается стратегия градиентного спуска для квантового сжатия и восстановления параметров сети. Среди них непрерывное преобразование, состоящее из $N - 1$ квантовых вентилях, рассматривается как однослойная комбинация квантовых вентилях U , в то время как реальная сеть требует многослойного квантового вентиля. Согласно предельному определению производной, производная параметров в сети может быть определена как:

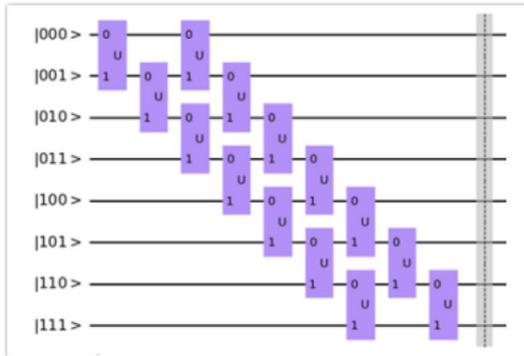


Рис. 3. Структура квантовой сети. В каждом слое этой квантовой сети квантовый вентиль $U(k, k+1)$ подключен в порядке кода Грея. Число однослойных квантовых вентилях U равно $N - 1$

Для квантовых сетей основная часть заключается в обучении параметров отражения θ всех эффективных квантовых вентилях. Конкретный

набор данных выбирается для онлайн-обучения с помощью моделирования, а фактическая физическая реализация может быть установлена в соответствующем формате.

Заключение

В данной работе строим соответствующий квантовый алгоритм, основанный на классических алгоритмах сжатия и восстановления изображений, используя квантовые состояния в качестве носителей информации изображения. Сжатие и реконструкция изображений реализуются с помощью сетей квантового сжатия и реконструкции. Затем восстановленные квантовые состояния [8] декомпилируются в классическую информацию и, наконец, реализуются сжатие и реконструкция информации классического изображения. Результаты моделирования полностью доказывают эффективность и превосходство алгоритма сжатия и реконструкции изображений на основе квантовых сетей. Реальная квантовая сеть, в которой установили $\alpha = 0$, все еще имеет определенные ограничения для квантовых задач и может решать только реальные задачи сжатия и восстановления информации. Поэтому в будущем необходимо сохранить фазовый параметр α в квантовых вентилях и построить полностью сложную квантовую сеть, которая будет больше подходить для более разнообразных квантовых задач. Аналогично, ожидаем, что, создавая сложные квантовые сети, они смогут напрямую решить проблему сжатия и восстановления известных или неизвестных квантовых состояний. В будущем классические области применения квантовых алгоритмов будут постоянно расширяться, а алгоритмы сжатия и реконструкции изображений на основе квантовых сетей получат потенциал для практического использования в области квантового зрения. Алгоритм на основе QN представляет собой расчет, который можно применить к общей квантовой визуализации на основе проектирования оптических квантовых схем. Приведем результаты реализации и моделирования, выполненные на квантовом компьютере.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. N. C. Jones, J. D. Whitfield, P. L. McMahon, M.-H. Yung, R. V. Meter, A. Aspuru-Guzik, and Y. Yamamoto, Faster quantum chemistry simulation on fault-tolerant quantum computers, *New Journal of Physics* 14, 115023 (2012);
2. P. W. Shor, Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer, *SIAM J. Comput.* 26, 1484.1509 (1997);

3. *W. Harrow, A. Hassidim, and S. Lloyd*, Quantum algorithm for linear systems of equations, *Phys. Rev. Lett.* 103, 150502 (2009);
4. *P. W. Shor*, Scheme for reducing decoherence in quantum computer memory, *Phys. Rev. A* 52, R2493 (1995);
5. *D. Gottesman*, Stabilizer codes and quantum error correction (California Institute of Technology, 1997);
6. *Bernstein, E., Vazirani U.* Quantum complexity theory. In Proceedings of the 25th ACM Symposium on the Theory of Computing, pages 11 – 20, 1993;
7. *Кайе Ф.* Введение в квантовые вычисления [Текст] / Ф. Кайе, Р. Лафлам. – Москва; Ижевск: ПХД, 2009. – 360 с.;
8. *Guzik V.* Architecture and Software Implementation of a Quantum Computer Model / V. Guzik, S. Gushanskiy, M. Polenov, V. Potapov // 5th Computer Science On-line Conference 2016 (CSOS), Czech Republic, 2016. – P. 59 – 68;

Гушанский Сергей Михайлович – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 8(8634)371656; кафедра вычислительной техники; к.т.н., доцент.

Потапов Виктор Сергеевич – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», e-mail: vpotapov@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 8(8634)371656; кафедра вычислительной техники; старший преподаватель.

Gushanskiy Sergey Mikhailovich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; e-mail: smgushanskiy@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

Potapov Viktor Sergeevich – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; e-mail: vpotapov@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; assistant.

УДК 004.021

Егорчев Антон Александрович, Чикрин Дмитрий Евгеньевич,
Пашин Дмитрий Михайлович, Сарамбаев Никита Андреевич,
Фахрутдинов Адель Фердинандович

АНАЛИЗ СИСТЕМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ЭМОЦИЙ ЧЕЛОВЕКА ПО ДАННЫМ ЗВУКОВОГО ПОТОКА

Возможность быстрой определения эмоционального состояния человека для выявления негативного настроения позволяет снизить материальные риски и даже сохранить жизнь людей, что является актуальной задачей на сегодняшний день. Целью работы является разработка алгоритма классификации эмоций по аудиоданным смартфона пользователя. В статье представлено решение, пригодное для встраивания в систему мониторинга состояния здоровья человека, которое позволяет определять эмоции человека по акустическому сигналу с микрофона пользователя. Решение базируется на использовании сверточных нейронных сетей. Решение показало 19.5% и 20.1% ошибок первого и второго рода соответственно для определения негативных эмоций.

Система неинвазивного мониторинга, машинное обучение, биомедицинский мониторинг, смартфонная сенсорика, анализ акустического сигнала, распознавание эмоций.

Egorchev Anton Alexandrovich, Chikrin Dmitry Evgen'evich,
Pashin Dmitry Mikhailovich, Sarambaev Nikita Andreevich
Fakhrutdinov Adel Ferdinandovich

EMOTION DETECTION AND CLASSIFICATION SYSTEM BASED ON SOUND FLOW DATA

The ability to quickly determine the emotional state of an employee to identify a negative allows us to reduce material risks and even save people's lives, which is an important task for today. The aim of the work is to develop an algorithm for classifying emotions based on the audio data of the user's smartphone. The paper presents a solution suitable for embedding into a human health monitoring system, which allows you to determine a person's emotions by an acoustic signal from the user's microphone. The solution is based on the use of convolutional neural networks. The solution showed 19.5% and 20.1% of errors of the first and second kind, respectively, for determining negative emotions.

Noninvasive monitoring system, machine learning, biomedical monitoring, smartphone sensors, acoustic signal analysis, emotion recognition.

Введение

В современном развивающемся мире имеется огромное количество рабочих должностей для разного уровня специалистов. Очевидно, что стресс оказывает негативное влияние на деятельность работника, а в конечном счете на производительность компании. В бизнесе и менеджменте эмоциональный интеллект играет важную роль в формировании лидерства и взаимоотношениях с коллегами и подчиненными. В образовании эмоции позволяют создавать позитивную образовательную среду и эмоционально поддерживать учащихся. В творческих профессиях эмоции напрямую влияют на производимый продукт. Более того негативные эмоции могут быть предвестниками конфликтов. Следовательно, существует необходимость в разработке автоматизированной системы, которая позволит своевременно выявлять людей с негативными эмоциями, потенциальным психоэмоциональным стрессом, для снижения негативного влияния таких людей на рабочую среду, а также оказания своевременной помощи, например, для предотвращения суицидов. В данной работе предложено решение на основе анализа алгоритмов определения эмоций из категории алгоритмов искусственного интеллекта, который служит для распознавания одной из трех эмоций: положительную, нейтральную или негативную в речевом сигнале. Данное решение предназначено для применения в рамках большой системы мониторинга состояния здоровья человека на предприятиях.

Основная часть

В задачах по распознаванию речи если не рассматривать модели основанные на трансформерах и модели seq-to-seq, используются рекуррентные нейронные сети или рекуррентные модели с долгой краткосрочной памятью (LSTM). В качестве признаков, извлекаемых из речевого сигнала, используются мел-кепстральные коэффициенты или статистические признаки речевого сигнала. На данных признаках как раз и обучают модели на основе нейронных сетей. Задача распознавания эмоций отлична от задачи распознавания речи тем, что при распознавании эмоций возможно не обязательно знать контекст, при котором эти эмоции появляются, что дает возможности рассмотреть сверточные нейронные сети для детекции эмоциональной окраски и ее распознавания.

Предлагается следующая последовательность действий для построения алгоритма распознавания эмоций:

- Построение табличной структуры данных: строится таблица данных со значениями эмоций для каждой аудиозаписи.
- Предварительная обработка: используя инструменты OpenSMILE[1], извлекаются статистические признаки из аудио-сигнала
- Обучение модели: используя CNN модель и построенную таблицу, модель обучается на распознавание эмоций.
- Тестирование модели: используя тестовые данные, модель тестируется на способность распознавания эмоций.
- Использование модели: обученная модель может использоваться для распознавания эмоций в новых аудио-сигналах.

При построении системы по распознаванию эмоций были рассмотрены следующие решения: решение Siddhant Mulajkar [2] (мел-кепстральные коэффициенты + CNN), решение на платформе Kaggle от Eu Jin Lok [3]; были рассмотрены следующие датасеты: SAVEE [5], RAVDESS [6], CREMA-D [7].

В качестве признаков для обучения сверточной нейронной сети были рассмотрены мел-кепстральные коэффициенты и статистические признаки из библиотеки openSMILE [1].

Временной отрезок в аудио-сигнале для проведения детекции эмоций 2.5 сек. Частота дискретизации аудио-сигнала 44100 Гц.

Структурная схема построенного алгоритма представлена на рис.1.

Результаты испытаний по определению и классификации эмоций представлен в таблице 1. Эмоция определяется как нейтральная, если в отрезке аудио-сигнала не существует эмоциональной окраски, иначе распознается либо положительная, либо отрицательная эмоция. Эмоциональная составляющая отрезка, большего чем 2.5 сек определяется вычисления моды по результатам проанализированных отрезков в 2.5 сек.

Таблица 1

Результаты испытания классификации эмоций

Тип эмоции	Ошибки 1 рода	Ошибки 2 рода
Негативная	19.5 %	20.1 %
Положительная	22.4 %	31.5 %
Нейтральная	40.6 %	53.3 %

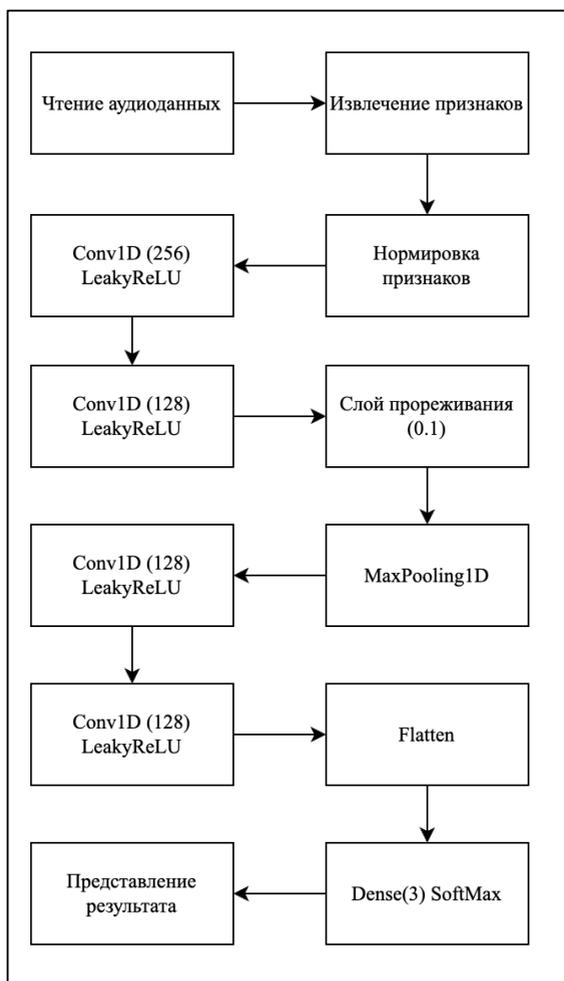


Рис 1. Структурная схема алгоритма определения и классификации эмоций

Выводы

В результате проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что представленная модель позволяет практически с 20% ошибкой определять негативные эмоции. Что в принципе является более приоритетным классом для определения в рамках рассматриваемого применения решения. Однако является непригодной для определения других типов эмоций.

Основными причинами таких результатов может являться небогатая обучающая выборка. Потенциально можно улучшить результаты, расширив количество рассматриваемых признаков, проведя балансировку обучающей выборки, а также увеличив размер ее размер. Возможно решение можно улучшить, рассмотрев использование LSTM на эмбедингах сверточной нейронной сети, или использовав комбинацию CNN+LSTM.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Opensmile 2.4.2 // PyPI - Указатель пакетов Python'a URL: <https://pypi.org/project/opensmile/> (дата обращения: 12.12.2022).
2. Sentiment-Predictor-for-Stress-Detection-using-Voice. — Текст : электронный // GitHub : [сайт]. — URL: <https://github.com/sidmulajkar/sentiment-predictor-for-stress-detection> (дата обращения: 10.10.2022).
3. Audio Emotion | Part 1 - Explore data. — Текст : электронный // Kaggle : [сайт]. — URL: <https://www.kaggle.com/code/ejlok1/audio-emotion-part-1-explore-data> (дата обращения: 10.10.2022).
4. Теория и практика машинного обучения: учебное пособие / В. В. Воронина, А. В. Михеев, Н
5. and Signal Processing URL: <http://kahlan.eps.surrey.ac.uk/>. Г. Ярушкина, К. В. Святков. — Ульяновск: УлГТУ, 2017. — 290 с.
6. Surrey Audio-Visual Expressed Emotion (SAVEE) Database // The Centre for Vision, Speech savee/ (дата обращения: 29.11.2022).
7. The Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song (RAVDESS): A dynamic, multimodal set of facial and vocal expressions in North American English // PLOS URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0196391> (дата обращения: 28.11.2022).
8. CREMA-D: Crowd-sourced Emotional Multimodal Actors Dataset // The National Center for Biotechnology Information URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4313618/> (дата обращения: 30.11.2022).
9. Лекция 1. Первичный анализ речевых сигналов. // Alpha Cephei speech Recognition URL: <https://alphacephei.com/ru/research> (дата обращения: 12.12.2022).
10. Панфилов И.А., Алексеев М.С., Сивцова Е.И. Извлечение признаков голосового корсега // Цифровая трансформация экономических систем:

- проблемы и перспективы (экопром-2022). - СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. - С. 794-796.
11. *El Ayadi M., Kamel M. S., Karray F.* Survey on speech emotion recognition: Features, classification schemes, and databases //Pattern recognition. – 2011. – Т. 44. – №. 3. – С. 572-587.
 12. *Abbaschian B. J., Sierra-Sosa D., Elmaghraby A.* Deep learning techniques for speech emotion recognition, from databases to models //Sensors. – 2021. – Т. 21. – №. 4. – С. 1249.
 13. *Swain M., Routray A., Kabisatpathy P.* Databases, features and classifiers for speech emotion recognition: a review //International Journal of Speech Technology. – 2018. – Т. 21. – С. 93-120.
 14. *Chen L. et al.* Two-layer fuzzy multiple random forest for speech emotion recognition in human-robot interaction //Information Sciences. – 2020. – Т. 509. – С. 150-163.

Егорчев Антон Александрович, кандидат технических наук, директор института вычислительной математики и информационных технологий, КФУ, Казань, ул. Кремлевская, 35. Email: anton@egorchev.ru.

Чикрин Дмитрий Евгеньевич, доктор технических наук, директор института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии, КФУ, Казань, ул. Сайлиха Сайдашева д.12 к.3, Email: dmitry.kfu@ya.ru.

Пашин Дмитрий Михайлович, доктор технических наук, проректор по цифровой трансформации и инновационной деятельности, КФУ, Казань, ул. Кремлевская д.18. Email: dmitry.m.pashin@gmail.com.

Сарамбаев Никита Андреевич, без степени, аспирант института вычислительной математики и информационных технологий, КФУ, Казань, ул. Кремлевская д. 35. Email: sarambaev@gmail.com Тел: +79179029352/

Фахрутдинов Адель Фердинандович, без степени, аспирант института физики, КФУ, Казань, ул. Кремлевская д.16а Email: timvaz@yandex.ru. Тел: +79872394153/

Egorchev Anton Alexandrovich, Ph.D of technical sciences, Director of Institute Computational Mathematics and IT, KFU, Kazan, Kremlevskaya st. 35. Email: anton@egorchev.ru

Chikrin Dmitry Evgen'evich, Doctor of technical sciences, Director of Institute of Artificial Intelligence, Robotics and System Engineering, KFU, Kazan, Salikha Saidasheva st. 12, 3 enc. Email: dmitry.m.pashin@gmail.com.

Pashin Dmitry Mikhailovich, Doctor of technical sciences, Vice-Rector for Digital Transformation and Innovation, KFU, Kazan, Kremlevskaya st. 18. Email: dmitry.kfu@ya.ru.

Sarambaev Nikita Andreevich, no degree, graduate student, Institute of Computational Mathematics and IT, IT, KFU, Kazan, Kremlevskaya st. 35. Email: sarambaev@gmail.com. Tel: +79179029352

Fakhrutdinov Adel Ferdinandovich, no degree, graduate student, Institute of Physics, KFU, Kazan, Kremlevskaya st. 16a. .Email: timvaz@yandex.ru. Tel: +79872394153

Секция – **Методы, системы и средства обработки и моделирования физических сигналов, полей и процессов**

УДК 621.396.677.3

Игнатович Владислав Олегович, Кисель Наталья Николаевна

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН ПРИ ПРИМЕНЕНИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ MIMO И BEAMFORMING

В ходе проведения данного исследования ставилась задача создать антенную систему для задач 5G и проанализировать работу технологий MIMO и Beamforming. Разработана и проанализирована микрополосковая MIMO-антенна. Проанализированы способы управления диаграммой направленности антенны, наглядно продемонстрирован принцип формирования луча. Далее, в ходе исследования была создана решетка на основе ранее созданной MIMO-антенны, проанализированы её направленные и частотные свойства. Сделан вывод о целесообразности применения микрополосковых антенн в фазированных антенных решетках 5G назначения.

Ignatovich Vladislav Olegovich, Kisel Natalia Nikolaevna

MODELLING OF MICROSTRIP ANTENNA CHARACTERISTICS WITH USING IN MIMO AND BEAMFORMING TECHNOLOGIES

During this research, the task was to create an antenna system for 5G tasks and analyze the operation of MIMO and Beamforming technologies. A microstrip MIMO antenna is designed and analyzed. Methods for controlling the antenna radiation pattern are analyzed. Further, during the study, an array was created based on a previously created MIMO antenna, and its directional and frequency properties were analyzed. A conclusion is made about the feasibility of using microstrip antennas in 5G phased array antennas.

Введение

Пятое поколение стандартов мобильной связи (пришло на смену LTE в 2010-х годах) начало внедряться в быт во время расцвета промышленных автоматизаций, прогресса в области Интернета вещей и развития робото-

техники. Так же в данное время активно развивается съемка и публикация в Интернете видеоматериалов разрешением 4K и выше. Это ставит перед разработчиками проводных и беспроводных сетей высокие требования к пропускной способности каналов связи и скорости передачи данных. Активное развитие киберспорта, повышение качества и степени погруженности участников в игровой процесс, в свою очередь, ставит перед разработчиками задачу снизить до минимума задержку сети при взаимодействии «клиент – сервер». Одновременно с этим, на волне развития технологий «Умного дома» происходит повышение числа электронных устройств, для работы которых необходимо подключение к Интернету (в большинстве случаев подключение осуществляется по беспроводным каналам, таким как Wi-Fi, Bluetooth или Zigbee). Это, в свою очередь, накладывает на разработчиков требования по обеспечению бесперебойной работы всех устройств, подключаемых к одной сети; следовательно, необходимо обеспечение высокой помехоустойчивости. Все эти задачи полностью или частично решаются путем реализации стандарта 5G.

Основная часть

Для решения задач 5G связи могут использоваться различные типы антенн. В литературе встречаются образцы линзовых антенн, антенн на основе метаматериалов, фотодетекторные и иные антенны. Отдельное место среди антенн 5G занимают микрополосковые антенны, антенны на чипе и отражательные решетки на базе всё тех же микрополосковых антенн. Данный тип антенн максимально подходит под развивающиеся технологии мобильной связи, поскольку удовлетворяет современным требованиям к антенне – тот же уровень усиления и способность к управляемому изменению формы диаграммы направленности при малых габаритных размерах и малой мощности питания.

Темой проводимых исследований было моделирование и исследование микрополосковых антенн и микрополосковых антенных решеток, исследование тех параметров, которые наиболее актуальны в существующих задачах мобильной связи.

В качестве основы для анализа была выбрана микрополосковая антенна, состоящая из шести элементов прямоугольной формы и имеющая выход к двум боковым граням подложки. Далее было принято решение модифицировать топологию, получив в итоге MIMO-антенну, с двумя портами под источник питания и двумя портами под нагрузку. Далее, в целях улучшения согласования антенны было принято решение модифицировать

слой заземления. Традиционно, в теории микрополосковых антенн принято размещать слой металла под подложкой, причем форма этого заземляющего слоя повторяет форму подложки. Но при исследовании микрополосковых антенн специалистами было замечено, что изменение формы слоя заземления оказывает влияние как на направленные свойства антенны, так и на частотные свойства.

Результаты моделирования итогового образца показали, что во всей полосе $n79$ значения КСВ не превышает 1.8. Минимум зафиксирован на отметке 1.14. Диаграмма направленности имеет внешнее сходство с цифрой 8, максимум излучения в плоскости xOz составил 3.26 dBi. КПД антенны определяется в диапазоне от 0.91 до 0.94, что приводит к отличному значению коэффициента корреляции (0.001 при нормальном значении в 0.3).

В процессе исследования одиночной ММО-антенны были проведены исследования её поляризационных свойств. Изменение диаграммы направленности достигалось путем изменения разности фаз между двумя напряжениями питания. Удалось выяснить, что мгновенные значения фаз питания не имеют влияния на свойства антенны, влияние оказывает только их разность. С помощью изменения знака разности фаз питания на противоположный осуществляется поворот диаграммы направленности на 180 градусов. Данный эксперимент, среди прочего, является демонстрацией и ответом на вопрос, почему в ММО-антеннах чаще всего отдают предпочтение разности фаз 90 градусов между двумя портами питания. Антенна с таким возбуждением наиболее близка к ненаправленной, что может являться наиболее предпочтительным для использования.

Отдельно были проведены исследования чувствительности антенны к параметрам диэлектрика и к толщине подложки. Необходимость проведения таких исследований заключается в несовершенстве производственных линий в изготовлении диэлектрических подложек. Производители фиксируют флуктуации основных параметров изделия в документации. Было проведено несколько исследований, которые позволяют учесть степень влияния отдельных факторов на характеристики антенны. Результаты представлены на рис. 1.

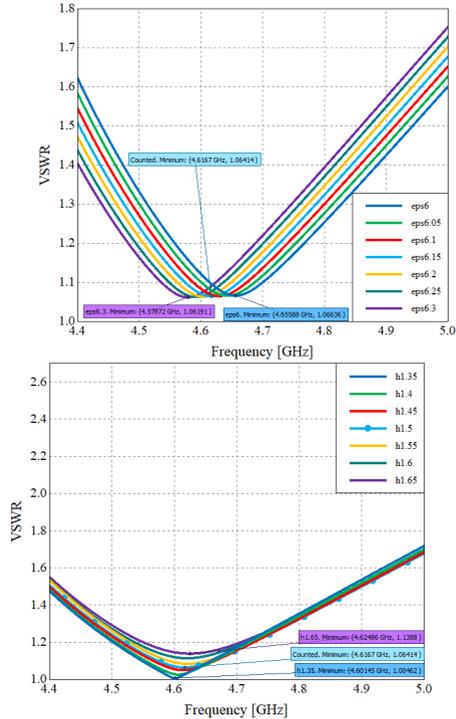


Рис. 1. График зависимости КСВ антенны от частоты при семи значениях диэлектрической проницаемости подложки и график зависимости КСВ антенны от частоты семи значениях толщины подложки

Зафиксировано, что флуктуация диэлектрической проницаемости подложки в пределах, отведенных заводом-изготовителем, приводят к смещению минимума КСВ (который фиксируется на резонансной частоте) в полосу 77 МГц (меньшее значение диэлектрической проницаемости соответствует крайнему левому графику) и флуктуации максимумов диаграммы направленности на 0.2 дВi. Флуктуация толщины подложки оказывает влияние непосредственно на значения минимумов КСВ, разность минимального и максимального зафиксированного значения составила 0.13 дВi, значение максимума ДН изменялось в пределах 0.15 дВi от расчетного значения. Влияние этих параметров на форму ДН не зафиксировано. Влияние флуктуаций толщины подложки на итоговый КПД антенны –

от 1 до 3 процентов, как и в случае флюктуаций диэлектрической проницаемости.

Далее на основе этой антенны было собрано несколько решеток различных размеров для исследования процессов формирования и управления диаграммой направленности в микрополосковых антенных решетках. Управление осуществляется с помощью изменения фаз питающих напряжений. Примеры таких изменений представлены на рис. 2.

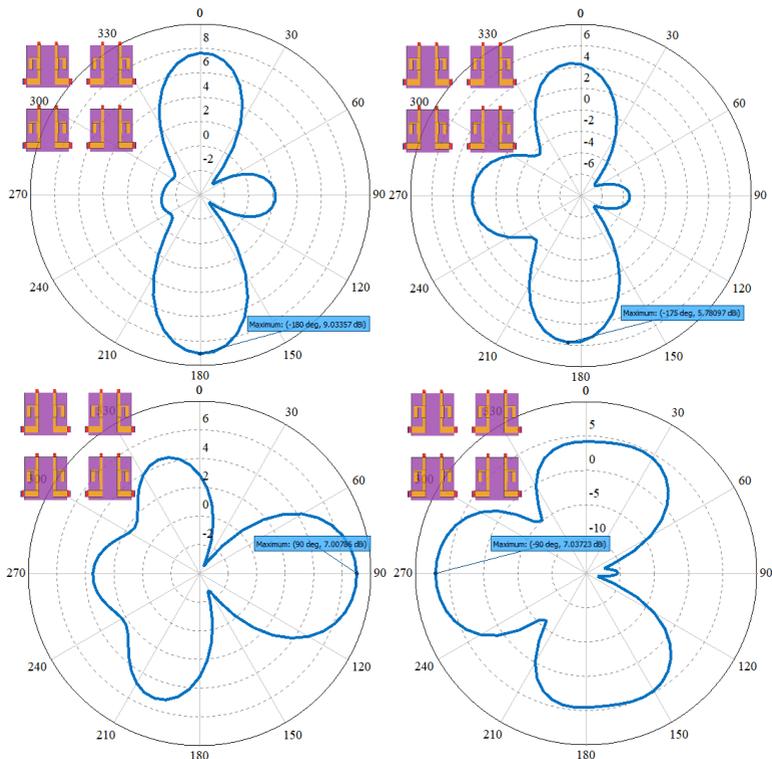


Рис. 2. Диаграммы направленности решетки 2x2 при различных фазовых соотношениях

Результаты моделирования показывают, что излучением решетки можно управлять путем манипуляций фазами питания на излучателях. Решетка имеет от двух до трех локальных максимума излучения, которые можно поворачивать в направлении абонента. Данное свойство имеет

название beamforming, или формированием диаграммы направленности. В целом, при манипуляциях с фазами антенной системы любых размеров наблюдается снижение согласования (был зафиксирован рост КСВ на отдельных портах, изменение частот, на которых входной импеданс был бы равен 50 Ом). Но при этом удалось зафиксировать управляемый поворот диаграммы направленности без потерь коэффициента усиления, таким образом, итоговый КПД антенны снижается не более чем на 0.05.

Выводы

В ходе проведения данного исследования ставилась задача создать антенную систему для задач 5G и проанализировать работу технологий MIMO и Beamforming. Разработана и проанализирована микрополосковая MIMO-антенна. Проанализированы способы управления диаграммой направленности антенны. Выведено эмпирическое соотношение, позволяющее предсказать угловое направление максимума ДН по разности фаз двух питающих напряжений. Далее, в ходе исследования была создана решетка на основе ранее созданной MIMO-антенны, проанализированы её направленные и частотные свойства. Сделан вывод о целесообразности применения микрополосковых антенн в фазированных антенных решетках 5G назначения.

Возможности, представляемые фазированными антенными решетками, будут находить широкое применение в 5G. В ходе исследования продемонстрирован принцип управления лучом (beamforming). Данный принцип позволяет менять диаграмму направленности решетки без изменения конструкции излучателей и их положения в пространстве. Изменение фаз питания антенн может быть реализовано программно и автоматизировано таким образом, чтобы максимумы излучения были направлены на абонента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *William Stallings*. 5G Wireless A Comprehensive Introduction // 2021 г.
2. *Balanis C. A.* Antenna Theory - Analysis and Design, 4th Edition // 2016 г.
3. *Вэнь Тонг, Пейин Чжу*. Сети 6G. Путь от 5G к 6G глазами разработчиков // 2022 г.
4. *S.-G. Park, Y. Choi, Y.-J. Oh, and K.-H. Jeong*, Terahertz photoconductive antenna with metal nanoislands, Optics Express, vol. 20, no. 23, pp. 25 530–25 535, 2012.

5. *J. Grzyb and U. Pfeiffer*, Thz direct detector and heterodyne receiver arrays in silicon nanoscale technologies, *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, vol. 36, no. 10, pp. 998–1032, 2015.

6. *E. O. Polat, G. Mercier, I. Nikitskiy, E. Puma, T. Galan, S. Gupta, M. Montagut, J. J. Piqueras, M. Bouwens, T. Durduran et al.*, Flexible graphene photodetectors for wearable fitness monitoring, *Science Advances*, vol. 5, no. 9, p. eaaw7846, 2019.

7. *Z. Zhao, G. Xie, L. Li, H. Song, C. Liu, K. Pang, R. Zhang, C. Bao, Z. Wang, S. Sajuyigbe et al.*, Performance of using antenna arrays to generate and receive mm-wave orbital-angular-momentum beams, in *Proc. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. IEEE, 2017, pp. 1–6.

8. NTT DoCoMo, DOCOMO conducts worlds first successful trial of transparent dynamic metasurface // Tokyo, 2020.

9. *D. Suzuki, S. Oda, and Y. Kawano*, A flexible and wearable terahertz scanner, *Nature Photonics*, vol. 10, no. 12, pp. 809–813, 2016.

10. *D. Suzuki, Y. Ochiai, and Y. Kawano*, Thermal device design for a carbon nanotube terahertz camera, *ACS Omega*, vol. 3, no. 3, pp. 3540–3547, 2018.

Игнатович Владислав Олегович, преподаватель Научно-образовательного центра «Перспективные решения в образовании» Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская 81, 347900, телефон: +7 (918) 553-02-67, email: vignatovich@sfedu.ru.

Кисель Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры Антенн и радиопередающих устройств Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский 44, 347900, телефон: +7(863) 218-40-00 доб. 30020, email: nnkisel@sfedu.ru.

Ignatovich Vladislav Olegovich, teacher, Scientific and Educational Center "Perspective Decisions in Education" Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovky lane, phone: +7 (918) 553-02-67, email: vignatovich@sfedu.ru.

Kisel Natalia Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), assistant professor, Department of Antennas and Radio Transmitting Devices, Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 44 Nekrasovky lane, phone: +7(863) 218-40-00 add. 30020, email: nnkisel@sfedu.ru.

УДК: 621.39:621.376.4

Плаксиенко Владимир Сергеевич, Плаксиенко Нина Евгеньевна

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ С ДИСКРИМИНАТОРОМ С УПРАВЛЯЕМОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

В статье проведено исследование системы ФАПЧ с дискриминатором с управляемой характеристикой показано, что решается проблема стабилизации полосы захвата системы ФАПЧ при воздействии шумов при использовании в кольце ФАПЧ дискриминатора с управляемой характеристикой, реализуемых структурой с взаимными обратными связями.

Система фазовой автоподстройки частоты, дискриминаторы с управляемой характеристикой при воздействии шумов.

Plaksienko Vladimir Sergeevith, Plaksienko Nina Evgenievna

INVESTIGATION OF A PHASE-LOCKED FREQUENCY TUNING SYSTEM WITH A DISCRIMINATOR WITH A CONTROLLED CHARACTERISTIC

The article conducts a study of the PLL system with a discriminator with a controlled characteristic and shows that the problem of stabilization of the PLL system capture strip under the influence of noise when using a discriminator with a controlled characteristic in the PLL ring, realized by a structure with mutual feedbacks, is solved.

Phase-locked frequency systems, discriminators, characteristic control, noise impact.

Введение.

Одной из главных задач в современных радиотехнических системах с непрерывными сигналами является осуществление синхронизации гетеродина. Синхронизацию местного гетеродина выполняют при помощи системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). При построении такой системы к ней предъявляются жесткие противоречивые требования: высокая фильтрация помех и широкая полоса слежения за частотой сигнала. Однако выполнение таких требований на практике в условиях априорной неопределенности о принимаемых радиосигналах представляет собой сложную задачу.

Основная часть.

Настоящая статья посвящена рассмотрению одного из методов решения задачи синхронизации гетеродина: расширению полосы захвата системы ФАПЧ при сохранении ее фильтрующих свойств за счет применения в системе ФАПЧ фазовых дискриминаторов с обратными связями (ФДОС).

Структурная схема системы ФАПЧ с ФДОС приведена на рис. 1.

Дифференциальное уравнение системы ФАПЧ, в которой в качестве ФД используется ФДОС, имеет вид (1):

$$p \cdot \varphi + E \cdot S_{ПГ} \cdot K(p_1) \cdot F_y(\varphi, \lambda) = \Delta\omega \quad (1)$$

где $p = \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования по времени t ;

E – максимальное выходное напряжение ФДОС;

$S_{ПГ}$ – крутизна перестраиваемого генератора;

$K(p)$ – коэффициент передачи ФНЧ в операторной форме;

$F_y(\varphi, \lambda)$ – нормированная управляемая характеристика ФДОС;

λ – параметр управления;

$\Delta\omega$ – начальная расстройка.

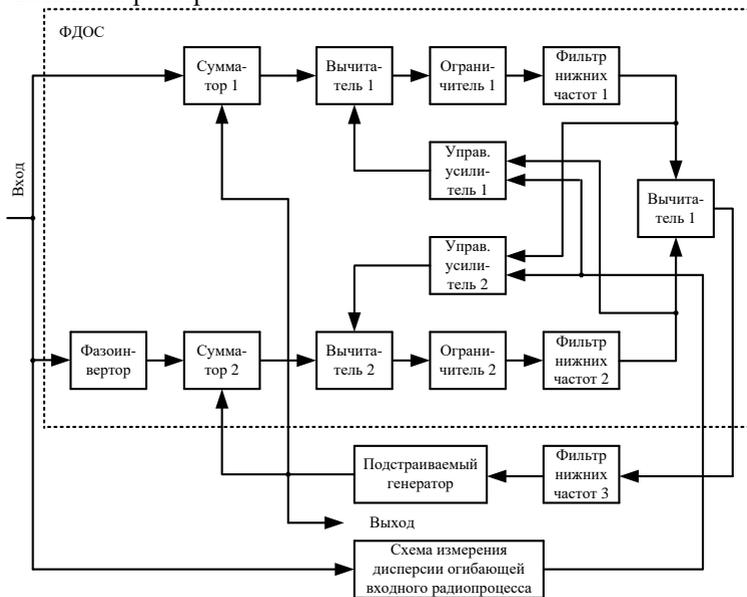


Рис 1.

В рассматриваемом устройстве управляемая характеристика $F_y(\varphi, \lambda)$ является функцией параметра λ , $F_y(\varphi, \lambda) = f(\varphi)$, который пропорционален мощности флукуационной составляющей процесса на входе ФД.

В системе ФАПЧ полоса захвата определяется в основном двумя параметрами [1]: постоянной времени ФНЧ и формой характеристики ФД. При неизменной постоянной времени ФНЧ полоса захвата системы ФАПЧ увеличивается по мере приближения характеристики ФД от треугольной к прямоугольной. Полоса удержания системы ФАПЧ задается при проектировании системы и определяется как один из множителей второго слагаемого в уравнении (1):

$$\Delta f_{\text{уд}} = E \cdot S_{\text{ПГ}}. \quad (2)$$

Наиболее полно шумовые свойства ФДОС описываются безразмерными относительными дискриминационными характеристиками, представляющими собой отношение математического ожидания на выходе дискриминатора к корню квадратному от его дисперсии. Именно эти характеристики дают представление об устойчивости работы дискриминаторов в условиях воздействия помех [2,3].

Дискриминационная характеристика ФДОС может иметь различную форму и зависит от глубины обратной связи. Регулировка формой характеристики ФД осуществляется при помощи изменения коэффициентов усиления K в цепях обратных связей [2]. При этом возможны четыре режима работы дискриминатора:

- 1) $K=0$ – соответствует обычному ФД без обратных связей;
- 2) $0 < K < 1$ — мягкий режим;
- 3) $K=1$ — критический режим;
- 4) $K > 1$ — жесткий режим.

В обычном ФД величина максимумов характеристики ФД и ее крутизна неизбежно уменьшаются при воздействии шумов на его входе. Изменение соотношения «сигнал/шум» приводит к ухудшению динамических свойств системы ФАПЧ, и в частности, к увеличению времени входа в синхронизм.

Указанный недостаток в определенной степени ослабляется в системе ФАПЧ с ФДОС. При изменении шумов на входе системы ФАПЧ изменяется напряжение на выходе схемы измерения дисперсии (рис. 1). Это напряжение является управляющим для управляемых усилителей. Изменение интенсивности шумов на входе системы ФАПЧ приводит к изменению глубины обратных связей таким образом, что крутизна и размах

дискриминационной характеристики остаются постоянными, и, следовательно, полоса захвата системы ФАПЧ стабилизируется. Результаты математического моделирования ФДОС в условиях воздействия шумов приведены на рис. 2.

Увеличение крутизны характеристики ФДОС, т.е. увеличение коэффициента усиления разомкнутой петли ФАПЧ на нулевой частоте, увеличивает выброс частотной характеристики замкнутой цепи.

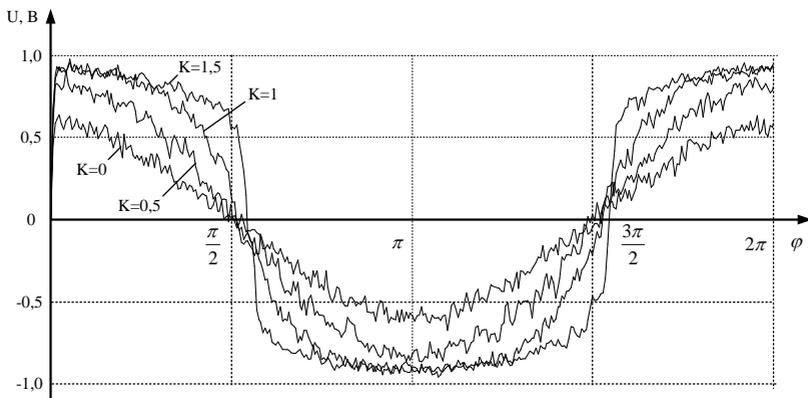


Рис 2.

При критическом значении коэффициента усиления разомкнутой цепи выброс частотной характеристики такой цепи получается бесконечно большим, поэтому крутизну характеристики ФДОС необходимо уменьшать по мере входа системы в режим захвата. В схеме, представленной на рис. 1, по мере входа системы в захват уровень управляющего напряжения, поступающего на управляемые усилители 1 и 2, уменьшается, в результате чего снижается крутизна характеристики ФДОС, что устраняет возможность возникновения предельного цикла первого рода.

Эффективность работы устройства, представленного на рис. 1, подтверждается результатами математического моделирования в среде Microcap и результатами экспериментальных исследований, согласуются с опубликованными в печати результатами экспериментальных исследований [2].

На рис. 3 приведена кривая зависимости полосы захвата Δf_3 от коэффициента взаимной обратной связи K при соотношении «сигнал/шум» $P_c/P_{ш} = 4$. Сдвиг фаз равен нулю на частоте 465 кГц. При отсутствии

шумов и при $K=0$ полоса захвата равна 8,3 кГц (точка А), при $P_c/P_u = 4$ она снижается до значения 6,6 кГц.

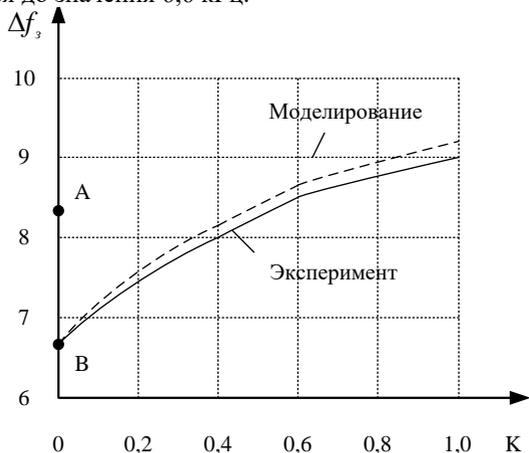


Рис 3.

Уменьшение полосы захвата можно компенсировать увеличением коэффициента взаимной обратной связи. Уже при $K=0,5$ полоса захвата становится равной полосе захвата устройства без шумов. В результате исследований установлено, что ФДОС обеспечивает увеличение соотношения «сигнал/шум» на выходе до 3-4 раз. Увеличение соотношения «сигнал/шум» на выходе можно рассматривать как эквивалентное повышение фильтрующей способности системы ФАПЧ. ФАПЧ с ФДОС сохраняет свою работоспособность до соотношения «сигнал/шум» $P_c/P_u = 2$, обеспечивая стабильность полосы захвата системы. Время переходных процессов в системе ФАПЧ с ФДОС существенно уменьшается по сравнению с обычной системой. Кроме того, за счет применения обратных связей происходит расширение полосы удержания ФАПЧ.

Однако чрезмерное повышение коэффициентов усиления K в цепях обратных связей при прямоугольной характеристике ФД приводит к потере устойчивости системы ФАПЧ вследствие возникновения устойчивого предельного цикла первого рода [2-6].

Выводы

Одним из способов решения проблемы стабилизации полосы захвата системы ФАПЧ при воздействии шумов является использование в кольце ФАПЧ фазового дискриминатора с обратными связями. Результаты

проведенных экспериментальных исследований и математического моделирования подтверждают возможность физической реализации и эффективность данного метода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шахильдян В.В., Ляховкин А.А. Системы фазовой автоподстройки частоты. М., «Связь», 1972. – 447 с.

2. Плаксиенко В.С. Уровневая статистическая обработка дискретных сигналов. М.: Учебно-методический и издательский центр «Учебная литература», 2006. - 274 с.

3. Плаксиенко В.С., Плаксиенко Н.Е. Фазовые дискриминаторы с обратными связями. (монография) LAPLAMBERT Academic Publishing mbH & Co. KG Saarbrücken, Germany, 978-3-659-66874-6 ISBN-13: 978-3-659-66874-6 ISBN-10: 3659668745 EAN: 97-3-659-66874-6 Оpubл. 2014-12-25

4. Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие для вузов В.С. Плаксиенко, Н.Е. Плаксиенко и др.; Под редакцией В.С. Плаксиенко. – 2-е изд. испр. – М.: Учебно-методический и издательский центр «Учебная литература», 2004, – 376 с.; ил.

5. А.С. Устройство последетекторной обработки сигналов при сдвоенном разнесенном приеме № 1215180, Б. И. 1986. № 8. – №3771520/24-09. Заявл. 13.07.84. Авторы: Плаксиенко В.С., Сучков П.В., Плаксиенко Н.Е., Лантратов О.И.

6. А.С. 1067613 СССР. Способ некогерентного приема двоичных сигналов/ Плаксиенко В.С. По заявке № 3436672/18-07. от. 07.05.82. Оpubл. в Б.И., 1984, № 2.

Плаксиенко Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры ВиРС ИРТСУ ИТА Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова, 22, 347900, телефон: 8-928-956-34-59, email: vsplaksienko46@sfedu.ru.

Плаксиенко Нина Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры ВиРС ИРТСУ ИТА Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова, 22, 347900, телефон: 8-928-606-19-77, email: neplaksienko@sfedu.ru.

Plaksienko Vladimir Sergeevich, Doctor of Technical Sciences (DSc), professor of Department of VIRS Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 22 Chekhova street, phone: 8-928-956-34-59, email: vsplaksienko@sfedu.ru.

Plaksienko Nina Evgenievna, Candidat of Technical Sciences (CSc), assistant professor of Department of VIRS Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 22 Chekhova street, phone: 8-928-606-19-77, email: neplaksienko@sfedu.ru.

УДК 621.396

Плаксиенко Владимир Сергеевич

ДЕМОДУЛЯТОРЫ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

В статье описаны особенности технической реализации демодуляторов в каналах устройств обработки сигналов, обеспечивающих реализацию задачи приема сигналов и определяющих точность и надежность радиоэлектронного средства.

Прием сигналов, точность и надежность комплекса передачи и приема сигналов.

Plaksienko Vladimir Sergeevith

DEMODULATORS IN SIGNAL PROCESSING SYSTEMS

The article describes the features of the technical implementation of demodulators in the channels of signal processing devices that ensure the implementation of the task of receiving signals and determine the accuracy and reliability of the radio-electronic facility

Signal reception, accuracy and reliability of the signal transmission and reception complex.

Введение. Демодулятор является устройством, которое обеспечивает реализацию задачи приема сигналов и от качества его работы зависит точность и надежность любого радиоэлектронного комплекса передачи и извлечения информации. В настоящее время радиоприемные устройства широко используют аналоговую и цифровую реализацию отдельных функциональных узлов, в том числе демодуляторов. Применяют цифровые схемы, которые могут либо повторять принципы аналогового демодулирования, либо реализовывать алгоритмы, отличающиеся от алгоритмов, реа-

лизуемых аналоговыми демодуляторами, широко применяемыми на практике.

Все многообразные схемы демодуляторов можно разбить на синхронные и асинхронные или нелинейные. Установившегося названия демодуляторам, выполняющим операцию сравнения и одновременного преобразования одного вида сигнала в другой нет. В зависимости от области применения используют понятия: демодулятор, различитель, дискриминатор, детектор, при этом понятие демодулятор является обобщающим, а остальные целесообразно использовать как частные случаи понятия демодулятор.

Основная часть. Термин детектор широко применяется в литературе по радиоприемным устройствам как устройство, выделяющее на выходе модулирующую функцию входного сигнала, однако этот же термин в литературе по обнаружению сигналов используется как обнаружитель.

Дискриминатором (от латинского *discriminato* – различать) – различителем называют устройство, преобразующее отклонение параметра некоторого входного воздействия $x_{\text{ВХ}}$ от заданной (эталонной) величины x_0 в выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = F(x_{\text{ВХ}} - x_0)$.

Проведем классификацию аналоговых демодуляторов (детекторов) на основе анализа ряда установившихся терминов и понятий.

Частотные детекторы (ЧД) преобразуют отклонение частоты входного воздействия $f_{\text{ВХ}}$ относительно некоторой эталонной частоты f_0 в выходное напряжение

$$U_{\text{ВЫХЧД}} = F(f_{\text{ВХ}} - f_0) = F(f_{\text{Д}}).$$

Например ЧД классифицируют по величине $f_{\text{Д}}$, по способу задания f_0 и т.д. Классификация ЧД приведена на рис. 1.

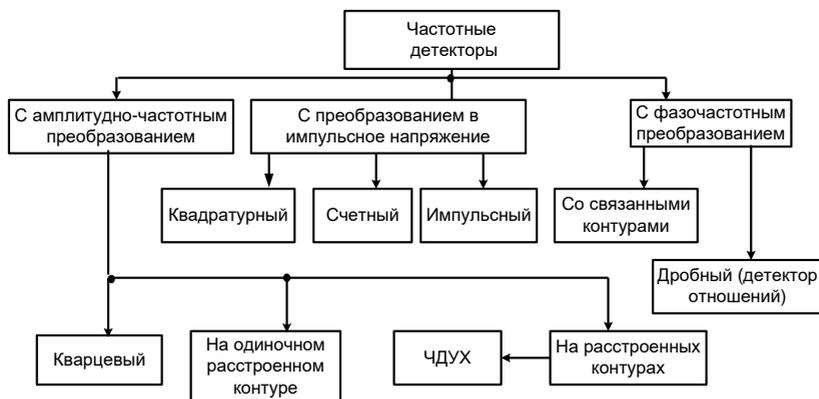


Рис. 1

При работе в условиях действия случайных возмущений, обусловленных внутренними шумами приемного устройства, амплитудными флуктуациями входного сигнала и другими причинами, на вход детектора в радиоприемном устройстве поступает радиосигнал, смешанный с шумами.

При больших расстройках помехозащищенность сигналов с ЧМ резко падает. Одним из широко применяемых эффективных методов борьбы с этим недостатком ЧД является введение предискажений ЧМ сигналов на передаче путем подъема высокочастотных составляющих. Для выравнивания сигнала на передающем конце предискажения должны быть введены с АЧХ обратной АЧХ приемника.

Эффективным методом повышения крутизны является применение дискриминаторов с взаимными обратными связями (ДВОС), реализующих управляемую характеристику [1, 3, 4].

По способу задания эталонной частоты f_0 все ЧД можно разделить на две группы: – с настройкой эталонного фильтра (колебательного контура); – с подачей на один из входов ЧД гармонического колебания эталонной частоты.

К резонансным ЧД относятся детекторы на расстроенных контурах, с фазовым сравнением, кварцевые, дробные (детектор отношений), резонансные, индуктивные с фазовым автовыбором.

Аналогично с амплитудными (АДУХ) при демодуляции сигналов, модулированных по частоте применяют частотные дискриминаторы с

управляемой характеристикой (ЧДУХ), построенные на основе дискриминаторов с взаимными обратными связями (ДВОС), они реализуют способ некогерентного приема двоичных сигналов [4], реализованы в устройствах [6,7,9,11] и также позволяют значительно повысить помехоустойчивость приема дискретных сигналов с изменяющейся длительностью [3].

В общем случае ЧД можно рассматривать как последовательное включение преобразователя входного сигнала в изменение амплитуд и два АД. При этом преобразователь или устройство отождествления и разделения сигналов можно рассматривать как блок, задающий входные величины для АД, что и определяет повышение эффективности при использовании схем основанных на ДВОС.

Цифровые детекторы могут быть реализованы как прототипы известных аналоговых, например, амплитудных детекторов. Однако повторение в цифровых детекторах решений известных аналоговых схем не всегда является наилучшим.

В цифровых нефазочувствительных АД различают линейные и квадратичные.

Различают 3 принципа построения **цифровых ЧД (ЦЧД)**:

1-й принцип – ЧМ-сигнал преобразуется в сигнал с АМ с последующим амплитудным детектированием – это ЦЧД на расстроенных резонаторах;

2-й принцип – в ЧМ-сигнале создается дополнительная ФМ относительно входного ЧМ сигнала с последующим фазовым детектированием, причем опорным для ФД является исходный ЧМ-сигнал; в автокорреляционном квадратурном ЧД также реализуется этот принцип. Различают также и обычные автокорреляционные ЦЧД.

По 3-му принципу построен цифровой синхронно-фазовый детектор (ЦСФД). Различают обычную и квадратурную схемы ЦСФД, в них протектированный сигнал создается в цепи управления частотой управляемого генератора.

Выводы.

Таким образом, наиболее часто в литературе встречается термин *детектор*, поэтому следует обращать внимание в первую очередь на то какие задачи решает демодулятор. Представляется целесообразным в тех случаях, когда нет необходимости в реализации протяженного линейного участка характеристики демодулятора, а необходимо различить факт перехода характеристики через некоторое значение – применять термин дискриминатор. Это в первую очередь относится к детекторам манипулиро-

ванных сигналов. Термин детектор, обычно адекватный термину демодулятор следует применять в случаях когда реализуется взаимно-однозначное соответствие между модулирующей функцией подаваемого на вход сигнала и напряжением на выходе, например линейный, либо квадратичный детектор. При этом соответствие обеспечивается в неограниченном диапазоне уровней сигналов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов/ Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, О.В. Головин, В.С. Плаксиенко и др.; Под ред. Н.Н. Фомина. М.: Горячая линия – Телеком 2007, – 520 с.

2. *Финк Л.М.* Теория передачи дискретных сообщений. М.: Сов. радио, 1970. – 728 с.

3. *Плаксиенко В.С.* Уровневая статистическая обработка дискретных сигналов. М.: Учебно-методический и издательский центр УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, 2006. –274 с.. Монография.

4. А.с. 1067613 СССР, МКИ н 04 27/00. Способ некогерентного приема двоичных сигналов/Плаксиенко В.С. (СССР). – № 3436672/18-07. Заявл. 07.05.82. Оpubл. в Б.И., 1984, № 2.

5. А.с. 801302 СССР, МКИ Н 04 L 27/22. Устройство для приема сигналов двукратной фазовой телеграфии/Плаксиенко В.С., Даниленко А.И., Плаксиенко Н.Е., Хомчук А.В. (СССР). – № 2744515. Заявл. 28.03.1979. Оpubл. в Б.И., 1981, № 4.

6. А.с. 809641 СССР, МКИ Н 04 L 27/14. Устройство для детектирования сигналов двойной частотной телеграфии/Плаксиенко В.С., Даниленко А.И., Плаксиенко Н.Е., Хомчук А.В. (СССР).– № 2717172/18-09. Заявл. 29.01.1979. Оpubл. в Б.И., 1981, № 8.

7. А.с. 1164900 А СССР, МКИ Н 04 L 27/14. Устройство для детектирования сигналов многопозиционной частотной телеграфии/Плаксиенко В.С., Загородский В.А., Плаксиенко Н.Е., Сучков П.В.,(СССР).– № 3614411/24-09. Заявл. 29.06.1983. Оpubл. в Б.И., 1985. № 24.

8. *Плаксиенко В.С., Сучков П.В., Плаксиенко Н.Е.* Исследование системы ФАПЧ с ФД с обратными связями//Проблемы повышения эффективности и качества систем синхронизации: Тезисы докладов и сообщений Всесоюзной НТК. – Каунас-Москва: Радио и связь, 1982. – С. 27-28.

9. Даниленко А.И., Плаксиенко В.С. О повышении достоверности при некогерентном приеме сигналов частотной телеграфии//Изв. вузов СССР: Радиоэлектроника.– 1971. Т. 14, № 7. – С. 790-794.

10. А.с. 320009 СССР, МКИ Н 03 в 7/10. Устройство для выделения частотномодулированных радиоимпульсов на фоне помех/Даниленко А.И., Плаксиенко В.С. (СССР). – № 1211125/26-9. Заявл. 17.01.1968. Оpubл. в Б.И. 1971, № 33.

Плаксиенко Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры ВиРС ИРТСУ ИТА Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Чехова, 22, 347900, телефон: 8-928-956-34-59, email: vsplaksienko46@sfedu.ru.

Plaksienko Vladimir Sergeevich, Doctor of Technical Sciences (DSc), professor of Department of VIRS Southern Federal University, 347900, Russia, Taganrog, 22 Chekhova street, phone: 8-928-956-34-59, email: vsplaksienko@sfedu.ru.

УДК 621.382

Богатов Николай Маркович, Володин Владимир Сергеевич,
Григорьян Леонтий Рустемович, Коваленко Максим Сергеевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ N-P ПЕРЕХОДА С УЧЕТОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ

Влияние поверхностных состояний на распределение электрического поля в диффузионном n-p переходе в кремнии промоделировано численно. Краевое условие для уравнения Пуассона учитывает общую электронейтральность образца и плотность электронных состояний на поверхности эмиттера. Показано, что изменение электрического потенциала вследствие существования поверхностных электронных состояний создает электрическое поле, направляющее неосновные носители заряда к поверхности и повышающее скорость их рекомбинации.

N-p переход, потенциал электрического поля, уравнение Пуассона, поверхностные состояния, электроны, дырки, кремний.

Bogatov Nikolay Markovich, Volodin Vladimir Sergeevich,
Grigoryan Leontiy Rustemovich, Kovalenko Maxim Sergeevich

SIMULATION OF THE ELECTRIC FIELD OF *N-P* JUNCTION WITH SURFACE STATES

*The influence of surface states on the electric field distribution in a diffusion *n-p* junction in silicon is simulated numerically. The boundary condition for the Poisson equation takes into account the overall electrical neutrality of the sample and the density of electronic states on the emitter surface. It is shown that a change in the electric potential due to the existence of surface electronic states creates an electric field that directs minority charge carriers to the surface and increases the rate of their recombination.*

**N-p* junction, electric field potential, Poisson's equation, surface states, electrons, holes, silicon.*

Введение

Уменьшение размеров полупроводниковых структур с *n-p* переходом – современная тенденция развития электроники. При этом для планарных переходов возрастает влияние поверхности, играющей, как правило, отрицательную роль. Основными физическими факторами являются существование плотности поверхностных состояний в зоне запрещенных энергий, создающих эффективный заряд, и рекомбинация через эти состояния.

Исследования поверхностной области, электрофизических характеристик полупроводниковой структуры, содержащей *n-p* переход, является современной актуальной задачей. Результаты этих исследований позволяют повысить эффективность ФЭП [1], уменьшить нестабильность диодов [2].

В работах [3, 4] показано, что накопление неравновесного поверхностного заряда на границе Si-SiO₂ является дополнительной причиной снижения эффективности собирания фотогенерированных носителей заряда. Отрицательное влияние туннельно-рекомбинационных переходов электронов через поверхностные состояния на границе раздела Si-ITO на эффективность разделения неравновесных носителей заряда в фотовольтаических приборах экспериментально доказано в [5]. Поверхностные заряды создают поверхностный электрический потенциальный барьер, что отрицательно влияет на перенос электронов и дырок через поверхность [6].

Цель работы – промоделировать влияние поверхностных состояний на распределение электрического поля в диффузионном *n-p* переходе.

Основные уравнения

Координатные параметры n - p перехода: при $-w_n \leq x \leq -d_n$ расположен эмиттер n -типа проводимости; при $-d_n < x < d_p$ расположена область, обедненная носителями заряда, (ООНЗ); при $d_p \leq x \leq w_p$ расположена база p -типа проводимости, в которой выполняется условие локальной нейтральности.

Концентрация примесей определяется формулой

$$N(x) = N_D(x) - N_A \text{ при } -w_n \leq x \leq w_p. \quad (1)$$

В формуле (1) N_D – концентрация доноров

$$N_D(x) = N_{D0} \operatorname{erfc}\left(\frac{(x + w_n)}{x_0}\right) \quad (2)$$

согласно модели диффузии из неограниченного источника [7], N_A – концентрация акцепторов $N_A = \text{const}$.

Концентрация ионизованных доноров и акцепторов [8]

$$N_D^{\text{ion}}(x) = \frac{N_D(x)}{1 + g_d e^{\frac{F - E_d}{kT}}}, \quad N_A^{\text{ion}} = \frac{N_A}{1 + g_a e^{\frac{E_a - F}{kT}}}, \quad (3)$$

где F – электрохимический потенциал (уровень Ферми), k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, E_d – энергетический уровень донорной примеси в запрещенной зоне, g_d – фактор вырождения донорного уровня, E_a – энергетический уровень акцепторной примеси в запрещенной зоне, g_a – фактор вырождения акцепторного уровня. Металлургическая граница n - p перехода расположена при $x = 0$, где выполняется условие $N^{\text{ion}}(0) = 0$.

Плотность заряженных состояний в поверхностной области задавалась в виде функции

$$N_s(x) = \begin{cases} N_{surf} \frac{w_{surf} - w_n - x}{w_{surf}}, & \text{при } -w_n \leq x < (w_{surf} - w_n), \\ 0, & \text{при } (w_{surf} - w_n) \leq x \leq w_p \end{cases}, \quad (4)$$

где w_{surf} – толщина поверхностного слоя. Плотность поверхностных состояний

$$N_{ss} = \int_{-w_n}^0 N_s(x) dx = \frac{1}{2} N_{surf} w_{surf}.$$

Концентрации электронов $n(x)$, дырок $p(x)$ заданы формулами [8]:

$$n(x) = N_c e^{\frac{F - E_g + q\varphi(x)}{kT}}, \quad p(x) = N_v e^{\frac{-F - q\varphi(x)}{kT}}, \quad (5)$$

где N_c – эффективная плотность электронных состояний в окрестности дна зоны проводимости, q – элементарный заряд, $\varphi(x)$ – потенциал внутреннего электрического поля, N_v – эффективная плотность электронных состояний в окрестности вершины валентной зоны, E_g – ширина запрещенной зоны, уровень Ферми F отсчитывается от вершины валентной зоны в точке $x = w_p$.

Потенциал внутреннего электрического поля является решением уравнения Пуассона:

$$\frac{d^2}{dx^2} \varphi(x) = -\frac{q}{\varepsilon \varepsilon_0} (p(x) - n(x) + N^{ion}(x) + N_s(x)), \quad (6)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость вещества, ε_0 – диэлектрическая постоянная, $N^{ion}(x)$ – концентрация ионизованных доноров и акцепторов.

Дополнительным условием для уравнения (6) является условие общей электронейтральности:

$$\int_{-w_n}^{w_p} (p(x) - n(x) + N^{ion}(x) + N_s(x)) dx = 0. \quad (7)$$

Из условия (7) следует, что

$$\left. \frac{d}{dx} \varphi(x) \right|_{x=-w_n} = \left. \frac{d}{dx} \varphi(x) \right|_{x=w_p}. \quad (8)$$

В базе в равновесных условиях напряженность электрического поля $E(x) = -\frac{d}{dx} \varphi(x)$ равна нулю, тогда условие (8) принимает вид

$$\left. \frac{d}{dx} \varphi(x) \right|_{x \leq -w_n} = 0, \quad (9)$$

Выбор начала отсчета потенциала произволен, поэтому считаем, что $\varphi(w_p) = 0$. Используя условие локальной нейтральности базы, найдем равновесное значение F .

Из (9) следует, что $\varphi(x) = \varphi_0$ при $x \leq -w_n$. Константа φ_0 явно не задается, а определяется в итерационном процессе. В этом заключается отличие используемого численного метода решения уравнения Пуассона.

Уравнение (6) в разностной форме (10) решалось численно методом последовательных приближений.

$$\frac{\varphi^j(x-h) - 2\varphi^j(x) + \varphi^{j-1}(x+h)}{h^2} = -\frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0} \left(N_v e^{\frac{-F-q\varphi^j(x)}{kT}} - N_c e^{\frac{F-E_g+q\varphi^j(x)}{kT}} + N^{ion}(x) + N_s(x) \right). \quad (10)$$

Краевые условия для уравнения (10): $\varphi^j(-w_n - h) = \varphi^j(-w_n)$, $\varphi^j(w_p) = 0$. В формуле (10) h – шаг дискретизации, j – номер итерации. Начальное приближение $\varphi^0(x)$ является решением уравнения локальной нейтральности

$$N_v e^{\frac{-F-q\varphi^0(x)}{kT}} - N_c e^{\frac{F-E_g+q\varphi^0(x)}{kT}} + N^{ion}(x) + N_s(x) = 0. \quad (11)$$

Значения $\varphi^j(x)$ находим, решая алгебраические уравнения (10) во всех точках отрезка дискретизации от $x = -w_n$ до $x = w_p - h$, используя $\varphi^{j-1}(x)$. Итерационный процесс прекращается при достижении условия (7).

Результаты моделирования

Объектом моделирования являлся n - p переход в кремнии, созданный диффузией фосфора в подложку, легированную бором. В расчетах использованы следующие значения: поверхностная концентрация фосфора $N_{D0} = 10^{26} \text{ м}^{-3}$, концентрация бора в пластине $N_A = 10^{21} \text{ м}^{-3}$. Диффузионный n - p переход, глубина залегания $w_n = 0.45 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, является достаточно плавным, чтобы уменьшить эффект образования области, обогащенной электронами, в области пространственного заряда [9]. На рис. 1 продемонстрировано влияние знака поверхностного заряда на изменение $\varphi(x)$ в поверхностной области n - p перехода. В эмиттере n -типа поверхностные состояния в запрещенной зоне, расположенные ниже уровня Ферми, заряжены отрицательно, поэтому в формуле (4) $N_{surf} < 0$. В эмиттере p -типа $N_{surf} > 0$. В расчетах использованы следующие значения параметров формулы (4) $|N_{surf}| = 10^{26} \text{ м}^{-3}$, $w_{surf} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}$, так что $|N_{ss}| = 10^{17} \text{ м}^{-2}$.

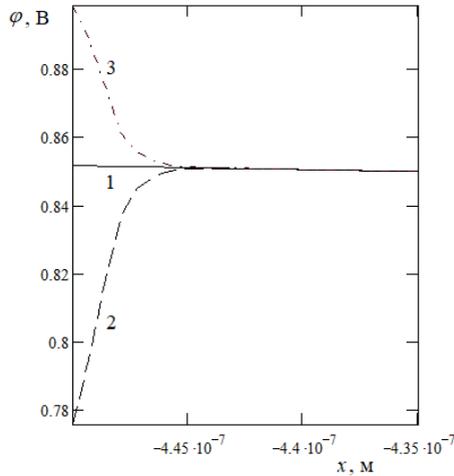


Рис. 1. Изменение электрического потенциала в поверхностной области.

1 – $N_{ss} = 0$; 2 – $N_{ss} = -10^{17} \text{ м}^{-2}$;

3 – $N_{ss} = 10^{17} \text{ м}^{-2}$

Условие $N_{ss} = 0$ соответствует отсутствию поверхностных состояний (рис. 1.), $N_{ss} = -10^{17} \text{ м}^{-2}$ – наличию отрицательно заряженных состояний ниже уровня Ферми на поверхности эмиттера n -типа (рис. 1.2), $N_{ss} = 10^{17} \text{ м}^{-2}$ – созданному положительному заряду на поверхности (рис. 1.3).

Поверхностные состояния существуют как нарушения трансляционной симметрии кристалла – таммовские поверхностные уровни, поверхностные состояния типа Шокли, состояния, обусловленные дефектами кристаллической решетки и примесными атомами. В зависимости от способа обработки поверхности [10], облучения ионизирующими частицами [11], состава атмосферы и других факторов плотность поверхностных электронных состояний принимает значения $10^{15} \div 10^{19} \text{ м}^{-2}$, толщина поверхностного слоя в кремнии $\sim 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ [12].

Выводы

В теоретических моделях фотоэлектрических преобразователей влияние поверхностных состояний на вольтамперную характеристику учитывается посредством скорости поверхностной рекомбинации. Результаты расчетов показывают, что изменение электрического потенциала превышает kT при комнатной температуре вследствие существования электронных состояний в запрещенной зоне на поверхности эмиттера. Это означает суще-

ствование электрического поля, направляющего неосновные носители заряда к поверхности и повышающего скорость их рекомбинации. Для компенсации этого эффекта необходимо в 10 раз уменьшить плотность поверхностных состояний или изменить знак поверхностного заряда на противоположный.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельник Н.Н., Трегулов В.В., Скопцова Г.Н., Иванов А.И., Косцов Д.С. Свойства p - n -перехода, сформированного в пленке пористого кремния, выращенной металл-стимулированным травлением // Краткие сообщения по физике ФИАН, 2022, № 9, С. 3–10.

2. Papež V., Hájek J., Kojecký B. Influence of surface states on the reverse and noise properties of silicon power diodes // IET Circuits Devices Syst., 2014, V. 8, I. 3, P. 213–220.

3. Богатов Н.М., Корнеев А.И., Матвеекин М.П., Родоманов Р.Р. Исследование влияния неравновесного заряда границы SiO_2 - Si на динамику спектральной чувствительности солнечных элементов с субмикронным p - n -переходом // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2006, № 2, С. 52–54.

4. Богатов Н.М., Матвеекин М.П., Першин Н.В., Родоманов Р.Р. Определение времени захвата неравновесного поверхностного заряда в полупроводниковых структурах по спаду тока короткого замыкания // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 2008, №6, С. 39–41.

5. Симашкевич А.В., Шербан Д.А., Брук Л.И., Фёдоров В.М., Коваль А., Усатый Ю.В. Особенности механизма прохождения тока через изотипную структуру $\text{ITO}/n\text{Si}$ // Электронная обработка материалов, 2010, № 1, С. 44–47.

6. Deng S., Xu R., Li M., Li L., Wang Z.L., Zhang Q. Influences of surface charges and gap width between p -type and n -type semiconductors on charge pumping // Nano Energy, 2020, V. 78, 105287, P. 1–7.

7. Мерер Х. Диффузия в твердых телах / Долгопрудный: Интеллект, 2011.

8. Шалимова К.В. Физика полупроводников / М.: Лань, 2010. 400 с

9. Богатов Н.М. Распределение заряда в резком несимметричном равновесном n - p -переходе // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества, 2016, №3, С. 12–17.

10. Яфаров Р.К. Влияние встроенного поверхностного потенциала на ВАХ кремниевых МДП структур // Микроэлектроника, 2019, Т. 48, № 2, С. 155–159

11. *Александров О.В.* Влияние интенсивности ионизирующего облучения на отклик МОП-структур // *Физика и техника полупроводников*, 2021, Т. 55, В. 2, С. 152–158.

12. *Юров В.М., Жанабергенов Т., Гученко С.А.* Толщина поверхностного слоя типичных полупроводников // *The scientific heritage*, 2020, No 43, P. 20–23.

Богатов Николай Маркович, д.ф.-м.н., профессор, ФГБОУ ВО «КубГУ», Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская 149, 350040, тел.: +7(903) 451-31-06, email: bogatov@phys.kubsu.ru.

Володин Владимир Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «КубГУ», Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская 149, 350040, тел.: +7(989) 820-36-72, email: volodinvs1995@mail.ru.

Григорьян Леонтий Рустемович, к.ф.-м.н., доцент, ФГБОУ ВО «КубГУ», Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская 149, 350040, тел.: +7(918) 168-17-19, email: leonmezon@mail.ru.

Коваленко Максим Сергеевич, к.ф.-м.н., доцент, ФГБОУ ВО «КубГУ», Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская 149, 350040, тел.: +7(918) 469-49-54, email: m.s.kovalenko@ya.ru.

Bogatov Nikolay Markovich, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Kuban State University, 350040, Russia, Krasnodar, 149, Stavropolskaya street, phone: +7(903) 451-31-06, email: bogatov@phys.kubsu.ru.

Volodin Vladimir Sergeevich, Graduate Student, Kuban State University, 350040, Russia, Krasnodar, 149, Stavropolskaya street, phone: +7(989) 820-36-72, email: volodinvs1995@mail.ru.

Grigoryan Leontiy Rustemovich, Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor, Kuban State University, 350040, Russia, Krasnodar, 149, Stavropolskaya street, phone: +7(918) 168-17-19, email: leonmezon@mail.ru.

Kovalenko Maxim Sergeevich, Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor, Kuban State University, 350040, Russia, Krasnodar, 149, Stavropolskaya street, phone: +7(918) 469-49-54, email: m.s.kovalenko@ya.ru.

УДК 621.383

Кривабоков Дмитрий Андреевич, Курников Дмитрий Сергеевич

ПРОГРАММИРОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ПЗС-СПЕКТРОМЕТРА

В данной работе представлена разработка микропроцессорной системы спектрометра оптического диапазона на базе ПЗС-линейки. Система основана на микроконтроллере STM32F401CDU6 и ПЗС-линейке TCD1304. Описаны основные компоненты системы, принцип работы и программное обеспечение. Разработанное программное обеспечение для ПК позволяет визуализировать и анализировать данные, полученные от ПЗС-линейки.

Спектрометр, оптический диапазон, ПЗС-линейка, микроконтроллер, STM32F401CDU6, TCD1304, ШИМ, DMA, USB, Python, Matplotlib, Scipy, Tkinter.

Krivabokov Dmitry Andreevich, Kurnikov Dmitry Sergeevich

PROGRAMMING A MICROCONTROLLER FOR A CCD SPECTROMETER

This paper presents the development of a microprocessor-based optical spectrometer system using a CCD line array. The system is based on the STM32F401CDU6 microcontroller and the TCD1304 CCD line array. The main components of the system, the principle of operation, and the software are described. The developed PC software allows for the visualization and analysis of data obtained from the CCD line array.

Spectrometer, optical range, CCD line array, microcontroller, STM32F401CDU6, TCD1304, PWM, DMA, USB, Python, Matplotlib, Scipy, Tkinter.

Введение

Спектрометры оптического диапазона широко используются в различных областях науки и техники, таких как физика, химия, биология, медицина, экология и др. Они позволяют измерять спектры излучения различных объектов, что дает ценную информацию об их свойствах.

В настоящее время микропроцессорные системы становятся все более популярными в качестве основы для спектрометров. Это связано с их невысокой стоимостью, компактностью, гибкостью и возможностью программирования.

Спектрометр состоит из диафрагмы 1, собственно спектрального прибора (призма или дифракционная решетка) 2 и чувствительного элемента (ПЗС-линейка) 3. Номер засвеченного пикселя соответствует определенной длине волны, присутствующей в спектре. Связь между номерами пикселей и длинами волн осуществляется на основе градуировочной кривой, построенной по известному спектру (например, от ртутной газоразрядной лампы).

Целью настоящей работы является разработка микропроцессорной системы, считывающей засветку пикселей на ПЗС-линейке. Разрабатываемый спектрометр предполагается использовать в качестве учебного прибора в рамках лабораторных занятий по курсу общей и экспериментальной физики для студентов физических и инженерно-технических специальностей и направлений.

Основная часть

В рамках выполненной работы была разработана микропроцессорная система спектрометра оптического диапазона на базе ПЗС-линейки. Эта система основана на микроконтроллере STM32F401CDU6 и ПЗС-линейке TCD1304.

Система состоит из нескольких ключевых компонентов, включая микроконтроллер STM32F401CDU6, ПЗС-линейку TCD1304. Электрическая принципиальная схема изображена на рис. 1.

Микроконтроллер STM32F401CDU6 является центральным элементом системы. Этот микроконтроллер обладает достаточной производительностью для управления ПЗС-линейкой и оснащен всеми необходимыми периферийными устройствами (таймеры для генерации широтно-модулированного сигнала, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с возможностью передачи данных в режиме прямого доступа к памяти, интерфейс USB).

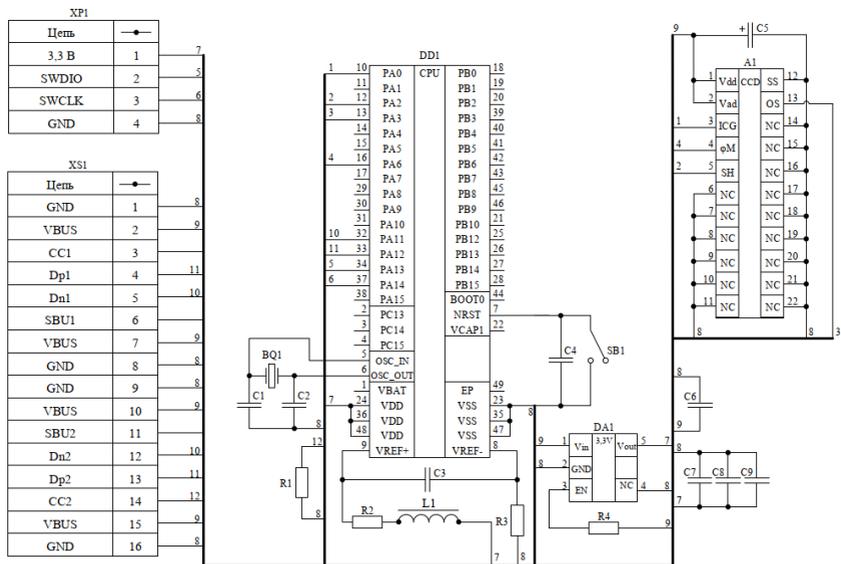


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная

Для управления данной ПЗС-линейкой необходимо сформировать три сигнала с заранее известными временными характеристиками (рис. 2). После перехода сигнала ICG из состояния логической единицы в состояние логического нуля сигнал SH должен быть установлен в состояние логической единицы не позже чем через 1 мкс (t_2) и оставаться в этом состоянии минимум 1 мкс (t_3). После перехода сигнала SH из состояния логической единицы в состояние логического нуля сигнал ICG должен оставаться в состоянии логического нуля около 5 мкс (t_1). Восходящий фронт сигнала ICG должен опережать срез тактового сигнала фМ на 20 нс (t_4). Основой подхода для формирования сигналов является использование ШИМ (широтно-импульсной модуляции).

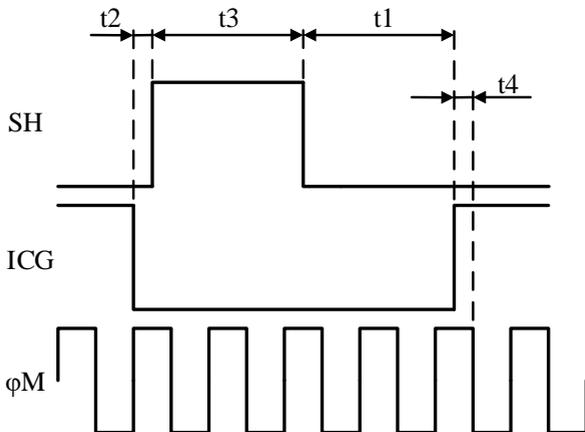


Рис. 2. Сигналы для управления TCD1304

Были использованы четыре таймера (TIM2, TIM3, TIM4 и TIM5) для генерации соответствующих ШИМ-сигналов. Каждый таймер настроен на генерацию определенного ШИМ-сигнала, который затем используется для управления соответствующим аспектом работы ПЗС-линейки или АЦП. В данной работе для формирования сигналов SH и ICH используются 32-разрядные таймеры TIM5 и TIM2, для формирования φM и триггера АЦП – 16-разрядные таймеры TIM3 и TIM4 соответственно.

Также было использован режим прямого доступа к памяти (DMA) для эффективного управления передачей данных и GPIO для управления вводом/выводом. Режим DMA позволяет переносить данные напрямую между памятью и периферийными устройствами, минуя процессор. Это значительно увеличивает скорость передачи данных и снижает нагрузку на процессор.

Важно отметить использование USB в режиме virtual com port для передачи данных на персональный компьютер (ПК). Это позволяет обеспечить быструю и надежную передачу данных между микроконтроллером и ПК, что особенно важно при работе с большими объемами данных, как в случае с ПЗС-линейкой.

Таким образом, таймеры микроконтроллера формируют управляющие сигналы, в ответ на которые ПЗС-линейка выдает дискретный сигнал. Данный сигнал оцифровывается АЦП и передается в память

микроконтроллера посредством DMA. По завершении работы АЦП оцифрованные данные передаются из памяти микроконтроллера через USB-интерфейс на ПК.

В дополнение к микроконтроллерной части, было разработано программное обеспечение на ПК для визуализации и анализа данных, полученных от ПЗС-линейки. Это ПО написано на Python и использует библиотеки Serial, Matplotlib, Scipy и Tkinter для чтения данных из COM-порта, обработки данных, построения графиков и создания графического пользовательского интерфейса (рис. 3).

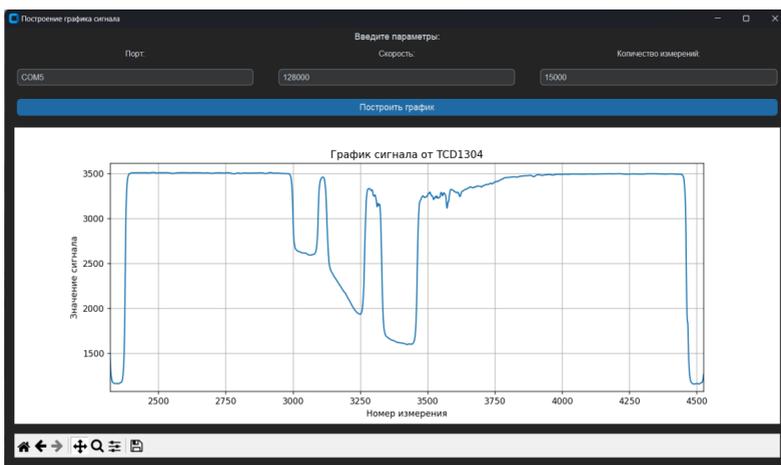


Рис. 3. Отображение сигнала с ПЗС-линейки

Перед визуализацией также используется фильтр Баттерворта для обработки данных с ПЗС-линейки. Фильтр Баттерворта применяется для сглаживания сигнала, полученного от ПЗС-линейки, что позволяет уменьшить уровень шума и улучшить качество данных.

Основные параметры фильтра Баттерворта:

1. Порядок фильтра (order): Определяет крутизну спада фильтра. Более высокий порядок приводит к более резкому переходу между полосой пропускания и полосой заграждения.

2. Критическая частота (cutoff frequency): Определяет частоту, на которой фильтр начинает ослаблять сигнал.

3. Тип фильтра: Может быть низкочастотным (lowpass), высокочастотным (highpass), полосовым (bandpass) или полосозаграждающим (bandstop).

В данном проекте порядок фильтра равен 1, что означает, что фильтр будет иметь относительно плавный переход между полосой пропускания и полосой заграждения. Критическая частота равна 0.1, что означает, что фильтр начнет ослаблять сигналы, частоты которых выше 10% от половины частоты дискретизации. Данный фильтр будет эффективно сглаживать высокочастотные шумы, оставляя низкочастотные компоненты сигнала практически без изменений.

Выводы

Данная работа является первым шагом для создания спектрометра оптического диапазона, примененного в учебных целях. Разработанная система обеспечивает высокую точность измерения спектра и удобный интерфейс для визуализации и анализа данных, что делает ее ценным инструментом для исследователей и специалистов в этой области. Это демонстрирует возможности современных микроконтроллеров и ПЗС-линеек в приложениях спектрометрии и подчеркивает важность эффективного программного обеспечения для обработки и анализа данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Коробчук М. В., Веригин А. Н.* Использование программных средств и электронных компонентов, применительно к проектированию мехатронных вибрационных установок //Производственные технологии будущего: от создания к внедрению. – 2021. – С. 212-216.
2. *Лебедько Е. Г., Зверева Е. Н., Тунг Н. В.* Высокоточное определение углового положения точечного источника излучения с ПЗС-линейками //Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15. – №. 3. – С. 398-404.
3. *Болл С. Р.* Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. – Litres, 2022.
4. *Башкиров А. В. и др.* Конфигурируемый сложнофункциональный блок обработки цифровых сигналов //Вестник кибернетики. – 2023. – №. 3 (51). – С. 6-16.
5. *Лапшин Д. А., Глушко А. Н.* Беспроводная архитектура акустико-эмиссионных систем с интерфейсом usb //В мире неразрушающего контроля. – 2011. – №. 4. – С. 69-72.

6. *Клец Д. М.* Метод повышения точности обработки данных, полученных в ходе испытаний мобильных машин, с помощью фильтра Баттерворта. – 2012.
7. *Шестаков О. В.* Вероятностно-статистические методы анализа и обработки сигналов на основе вейвлет-алгоритмов //М.: Аргамак-Медиа. – 2016.
8. *Бручковский И. И. и др.* Предварительная обработка спектров для анализа по методу дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии //Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2018. – №. 2. – С. 86-96.
9. *Пальчевский Е. В., Халиков А. Р.* Техника инструментирования кода и оптимизация кодовых строк при моделировании фазовых переходов на языке программирования С++ //Труды Института системного программирования РАН. – 2015. – Т. 27. – №. 6. – С. 87-96.
10. *Кудрявцев А. А., Поскребышев И. А., Промыслов В. Г.* Выбор оптимальных параметров системы единого времени в промышленной компьютерной сети на основе анализа математической модели //Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения.– 2010.– С. 747-750.
11. *Спринджук М. В. и др.* Современные алгоритмы обработки данных транскриптомов: обзор методов и результаты апробации //Системный анализ и прикладная информатика. – 2021. – №. 2. – С. 54-62.

Кривабоков Дмитрий Андреевич, студент группы ЭВМ-2.1 Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, email: dimakrivabokov@yandex.ru.

Курников Дмитрий Сергеевич, студент группы ЭВМ-2.1 Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, email: kurnikov.2000@yandex.ru.

Krivabokov Dmitry Andreevich, Student of group EVM-2.1 of Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, email: dimakrivabokov@yandex.ru.

Kurnikov Dmitry Sergeevich, Student of group EVM-2.1 of Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, email: kurnikov.2000@yandex.ru.

УДК 004.05 : 621.391.8

Курников Дмитрий Сергеевич, Кривабоков Дмитрий Андреевич

РЕАЛИЗАЦИЯ БЛОЧНЫХ АЛГОРИТМОВ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ НА ПЛИС

В данной работе ведётся исследование блочных алгоритмов помехоустойчивого кодирования Хемминга, Рида-Соломона и BCH на базе ПЛИС Altera Cyclone IV с архитектурой FPGA. Представлена система тестирования алгоритмов помехоустойчивого кодирования, описаны её основные узлы и принцип работы. Получены и проанализированы результаты синтеза и тестирования представленных кодов коррекции ошибок.

Помехоустойчивый код, кодирование ошибок, блочные алгоритмы, ПЛИС.

Kurnikov Dmitry Sergeevich, Krivabokov Dmitry Andreevich

IMPLEMENTATION OF BLOCK ALGORITHMS FOR NOISE-TOLERANT CODING ON FPGAS

This paper studies block algorithms of noise-tolerant coding of Hemming, Reed-Solomon and BCH based on Altera Cyclone IV FPGA with FPGA architecture. The system of testing algorithms of noise-tolerant coding is presented, its main nodes and principle of operation are described. The results of synthesis and testing of the presented error correction codes are obtained and analyzed.

Noise-tolerant code, error coding, block algorithms, FPGA.

Введение

Специфические условия сред в которых распространяются сигналы различной природы и хранится информация могут вносить определённые искажения в исходные данные. Для борьбы с помехами, возникающими при приёмо-передаче и считывании информации учёными были разработаны специальные методы, одним из которых является помехоустойчивое кодирование.

Высокая помехоустойчивость сложной системы заключается во введении избыточности, необходимой для обнаружения и исправления ошибок, возникающих при взаимодействии с потоком данных [1]. Данный метод обработки информации нашёл своё применение в цифровой связи, компьютерных сетях, центрах обработки и хранения информации и космической технике.

Существуют два принципиально различных типа помехоустойчивых кодов блочные и древовидные (непрерывные). Принцип работы первых заключается в разбиении непрерывной последовательности информационных символов на отрезки, содержащие k символов, или блоки. В дальнейшем операции производятся над каждым блоком в отдельности в соответствии с выбранным кодом.

При использовании древовидных кодов информационная последовательность подвергается обработке без предварительного разбиения её на независимые блоки. В кодирующем устройстве этого типа информация обрабатывается непрерывно и каждой длинной информационной последовательности сопоставляется кодовая последовательность, состоящая из несколько большого количества символов.

Существуют также свёрточные коды являющиеся частным случаем древовидных кодов. Эти коды отличаются наиболее простой реализацией, благодаря чему они получили широкое распространение.

В текущей работе будет рассмотрена реализации блочных алгоритмов помехоустойчивого кодирования (АПК) ошибок Хемминга [2], Рида-Соломона [3] и Боуза-Чодхури-Хоквингема (ВСН) [4] на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Результаты исследования могут быть полезны инженерам разработчикам при проектировании устройств обеспечивающих надёжную передачу и хранение данных.

В литературе [5] ПЛИС определяют, как интегральные схемы, выполняемые функции которых можно многократно изменять (конфигурировать) после изготовления. Основное преимущество использования подобных устройств заключается в возможности эффективно выполнять параллельные вычисления на больших тактовых частотах с малым энергопотреблением.

Основная часть

Для аппаратного тестирования АПК была применена ПЛИС производства компании Altera семейства Cyclone IV с артикулом EP4CE6F17C8N. Данная программируемая логика построена на архитектуре FPGA (Field Programmable Gates Array) [6], имеет 6272 логических элемента, 179 портов ввода-вывода и 270 кбит встроенной памяти.

В рамках выполненной работы была разработана FPGA-система тестирования помехоустойчивых кодов на базе ПЛИС (рис. 1).

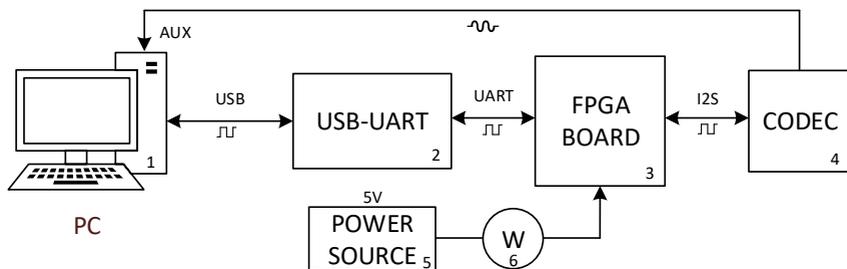


Рис. 1. Система тестирования кодов коррекции ошибок

Система состоит из следующих ключевых компонентов: 1 – персонального компьютера (ПК) с аудио входом AUX и интерфейсом USB версии 2.0 и выше; 2 – преобразователя интерфейсов USB-UART на микросхеме PL2303; 3 – отладочной платы на базе пЛИС EP4CE6F17C8N; 4 – аудио кодека WM8960 с интерфейсом I2S; 5 – стабилизированного источника питания, настроенного на постоянное выходное напряжение 5В, имеющего нестабильность выходного напряжения на выбранном диапазоне до 10мВ; 6 – ваттметра с разрешением 0.001Вт и точностью $\pm(0.5\%+2)$.

С помощью персонального компьютера осуществляется управление процессом тестирования. Для этого было написано специализированное программное обеспечение, в котором реализованы следующие функции: 1 – кодирование и декодирование аналоговых и цифровых сигналов в соответствии с выбранным алгоритмом коррекции ошибок; 2 – управление ПЛИС по интерфейсу UART [7] (переключение режима приём/передача); 3 – отправка и приём блоков помехоустойчивого кода по интерфейсу UART; 4 – отправка и приём аналоговых сигналов через звуковую карту ПК; 5 – сбор статистики о пакетах потерянных, принятых без ошибок, успешно декодированных и декодированных с ошибками (возникают в том случае, когда количество помех превышает корректирующую способность кода).

Ядром систем является отладочная плата с установленной на ней ПЛИС. На плате выведены интерфейсы для подключения вспомогательных модулей, присутствует загрузчик конфигурации, внешняя память, органы управления (кнопки, переключатели) и светодиодные индикаторы.

Для каждого АПК были разработаны модули кодирования и декодирования ошибок, конфигурация которых при очередном тестировании загрузалась во внешнюю память. Применяемая в работе ПЛИС не имеет

встроенных аппаратных интерфейсов UART и I2C, поэтому они были описаны программно на языке Verilog [8]. Помимо этого, были добавлены модули преобразования последовательного кода в параллельный и обратно.

Кодек в системе выполняет функции аналогово цифрового и цифро-аналогового преобразования [9]. Благодаря ему получившуюся систему можно встраивать в приложения, где использование аналогового сигнала целесообразнее (следует учитывать, что существуют различные методы модуляции и манипуляции аналоговых сигналов и для конкретного способа обмена информацией в конфигурацию ПЛИС нужно включать дополнительные модули преобразующие сигналы разного типа в нужную кодовую последовательность).

С помощью ваттметра осуществляется замер потребляемой ПЛИС мощности при работе того или иного алгоритма помехоустойчивого кодирования. Так как было произведено несколько замеров в таблицу 2 вошли усреднённые значения мощности. Все реализуемые в работе модули были написаны на языке описания аппаратуры Verilog. Разработка и тестирование модулей велось в программе Active-HDL_SE_2022. Синтез внутренней конфигурации ПЛИС и загрузка её в ПЗУ производились в программе Quartus Prime 22. Дополнительно при разработке и отладке модулей строились математические модели в программе PTC Matchcad Prime 6.0 и создавались приложения на языке Python версии 3.8 с использованием фреймворка Qt Designer 5.14.1.

При синтезе логических схем [10] программой Quartus Prime были предоставлены параметры, отражающие использование ресурсов ПЛИС (табл. 1).

Таблица 1

Использование ресурсов АПК

Название модуля или функции	Общее число логических ячеек	Количество логических регистров	Логические ячейки, используемые только для реализации комбинационной логики	Логические ячейки, использующие только регистры для хранения данных
Hamming	169	3	153	2
-decoder	58	0	57	2
-encoder	35	0	34	2
Reed_Solomon	2874	1535	1091	72
-decoder	2463	1325	1136	46
-encoder	731	398	49	8
BCH	1749	1262	917	11
-decoder	833	340	1097	39
-encoder	304	213	80	25

Анализ результатов синтеза (таблица 1) приводит к пониманию того, что модули, реализующие алгоритм Рила-Соломона, являются самыми сложными, в них задействовано наибольшее количество логических ячеек, регистров и комбинационной логики. Модули реализации ВСН занимают промежуточное положение. Модули реализации кода Хемминга имеют минимальными требованиями к логическим ячейкам и регистрам, они лучше подходят для менее требовательных задач.

Для проведения тестирования алгоритмов были созданы тестовые пакеты информации, состоящие из 24 бит каждый. В случайных местах пакетов были инвертированы от 1 до 8 бит. При кодировании пакетов помехоустойчивым алгоритмом данные разбивались на блоки по 6 бит к которым добавлялось по 2 контрольных бита (ограничено пропускной способностью интерфейса UART). Всего в обмене участвовало 1000 пакетов для каждого алгоритма. Результаты тестирования АПК представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты тестирования АПК

Название АПК	Процесс	Время обработки (мс)	Потребляемая мощность (мВт)	Успешно обработанные пакеты	Число пакетов содержащих ошибки	Число успешно декодированных пакетов
Код Хемминга	кодирование	11	21	985	60	45
	декодирование	13	26	989	57	49
Код Рида-Соломона	кодирование	53	105	996	38	33
	декодирование	61	113	995	49	45
ВСН код	кодирование	31	73	991	30	25
	декодирование	38	82	993	48	40

При аппаратном тестировании АПК код Рида-Соломона проявил себя как наиболее эффективный в контексте исправления ошибок. Однако его эффективность обусловлена увеличенным временем обработки и потреблением энергии по сравнению с алгоритмами Хемминга и ВСН. Код Хемминга, в свою очередь, обеспечивает быструю обработку и низкое энергопотребление, но ограничен в возможностях исправления ошибок. ВСН код показывает результаты промежуточного уровня, он сбалансирован между способностью к исправлению ошибок и затратами времени и энергии.

Выводы

Работа по реализации и тестированию блочных АПК на ПЛИС подтвердила их эффективность в обнаружении и исправлении ошибок.

Разработанная в данном исследовании система тестирования АПК помогла выявить наиболее эффективный с точки зрения надёжности алгоритм – код Рида–Соломона и расставить приоритеты использования других АПК. Применяя представленную схему, инженеры могут производить собственные исследования интересующих их параметров.

Результаты синтеза и тестирования АПК могут быть использованы разработчиками на этапе проектирования изделий при выборе модели ПЛИС и АПК необходимых для выполнения технического задания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Питерсон У.У.* Коды, исправляющие ошибки. – М.: Мир, 1976. 600 с.
2. *Кудрявцев А.В., Енгальцев И.Р., Кашанов А.Р.* Применение помехозащищённого кодирования для повышения целостности информации погружной телеметрии // Молодой ученый. – 2011. – № 1 (24). – С. 25-27.
3. *Дружинин В.И., Кузьмин О.В.* Коды Рида–Соломона в системах обнаружения и исправления ошибок при передаче данных // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – №1 (45). – С. 21-30.
4. *Калыгин Г.О.* Исследование дистанционных свойств кода БЧХ // Молодой ученый. – 2020. – № 9 (299). – С. 22-26.
5. *Ушенина И.В.* Проектирование цифровых устройств на ПЛИС – 2-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2023. – 408 с.
6. *Игошина М.С.* Архитектуры современных ПЛИС: Достоинства и недостатки // Теория и практика современной науки. – 2021. – №11 (77). – С. 228-231.
7. *Магада Ю.С.* Программирование последовательных интерфейсов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009 – 304 с.
8. *Строгонов А.А.* Изучение принципов работы ЦАП и АЦП с помощью средств смешанного аналого-цифрового моделирования САПР OrCAD // Компоненты и Технологии. – 2007. – №76. – С. 137-143.
9. *Соловьев В.В.* Основы языка проектирования цифровой аппаратуры Verilog – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2024. – 284 с.
10. Цифровой синтез: практический курс / А.А. Антонов, А.В. Барабанов, Ч.Т. Данчек, С.Л. Жельнио, С.А. Иванец, И.А. Кудрявцев, Ю.В. Панчул, А.Ю. Романов, И.И. Романова, А.А. Телятников, М.С. Шуплецов. М.: ДМК Пресс, 2020. 556 с.

Курников Дмитрий Сергеевич, студент группы ЭВМ-2.1 Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, email: kurnikov.2000@yandex.ru.

Кривабоков Дмитрий Андреевич, студент группы ЭВМ-2.1 Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, email: dimakrivabokov@yandex.ru.

Kurnikov Dmitry Sergeevich, Student of group EVM-2.1 of Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, email: kurnikov.2000@yandex.ru.

Krivabokov Dmitry Andreevich, Student of group EVM-2.1 of Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, email: dimakrivabokov@yandex.ru.

УДК 621.396.13

Моисеенко Иван Евгеньевич, Кисель Наталья Николаевна

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Рассмотрены вопросы моделирования и измерения характеристик сверхширокополосных микрополосковых антенн для медицинских приложений. Исследованы различные способы реализации питания питающей линии антенны а также проанализированы основные характеристики антенны, такие как частотные зависимости коэффициента отражения, КСВ, коэффициента усиления, диаграммы направленности в полосе частот от 3 ГГц до 20 ГГц. Для моделирования и верификации полученных результатов использованы САПР программы Altair FEKO и CST Studio Suite.

Сверхширокополосная антенна, монополярная антенна, беспроводные системы связи.

Moiseenko Ivan Evgenievich, Kisel' Natal'ya Nikolaevna

STUDYING THE CHARACTERISTICS OF AN ULTRA-WIDEBAND ANTENNA FOR MEDICAL APPLICATIONS

The issues of modeling and measuring the characteristics of ultra-wideband microstrip antennas for medical applications are considered. Various methods for implementing antenna feed lines have been studied, and the main characteristics of an-

tennas have been analyzed, such as frequency depending on the reflection coefficient, SWR, gain, radiation pattern in the frequency band from 3 GHz to 20 GHz. CAD programs Altair FEKO and CST Studio Suite were used to simulate and verify the results obtained. The developed physical antenna sample was examined and the results were compared with the results of mathematical modeling.

Ultra-wideband antenna, monopole antenna, wireless communication systems.

Введение

В настоящее время носимые беспроводные системы связи используются для различных приложений, например медицинских, обеспечивая постоянный мониторинг параметров человека с последующей обработкой результатов с помощью искусственного интеллекта. Такой подход – это не только развитие дистанционных направлений медицины, но и снижение вероятности возможных ошибок при установке диагноза, динамике изменения параметров пациентов и подбор необходимых лекарств для корректировки лечения. Эффективность работы таких персональных беспроводных систем, целью которых служит сбор и передача информации напрямую зависит от антенн, используемых в этих системах. В качестве выбора антенн для данных приложений являются микрополосковые антенны, которые относятся к низкопрофильным, они имеют небольшие габариты и при этом можно обеспечить широкую полосу частот их работы. Еще важное требование для таких антенн – это сохранение поляризационных свойств антенны, формы диаграммы направленности и коэффициента усиления при возможной деформации (искривления антенны).

В работе исследованы вопросы чувствительности характеристик антенны к изменению конфигурации питающей линии, выполнена оптимизация геометрических параметров микрополосковой линии питания. Проведено сравнение характеристики антенны для различных вариантов реализации схемы питания, а также выполнена верификация результатов, полученных с использованием специализированного САПР Altair FEKO и CST Studio Suite.

Основная часть

В работе рассмотрена СШП-антенны микрополосковая монополярная антенна в частотном диапазоне от 3 до 19 ГГц. Излучатель круглой формы имеет радиус $R=10,6$ мм. Антенна выполнена на диэлектрической подложке с размерами $W=42$ мм, $L=50$ мм с относительной диэлектрической проницаемостью 4,5, тангенсом потерь 0.001 и высотой $h=1,5$ мм. С обратной

стороны подложки расположен экран прямоугольной формы с размерами 42 мм X 15,6 мм. Питание реализовано в виде микрополосковой линии конической формы с трезубцем в месте соединения линии с излучателем. Сужение помогает выполнить согласование входного импеданса по частоте, а трезубец выполняет дополнительное согласование для определенных частотных зон. На рис. 1 представлена геометрия данной антенны.

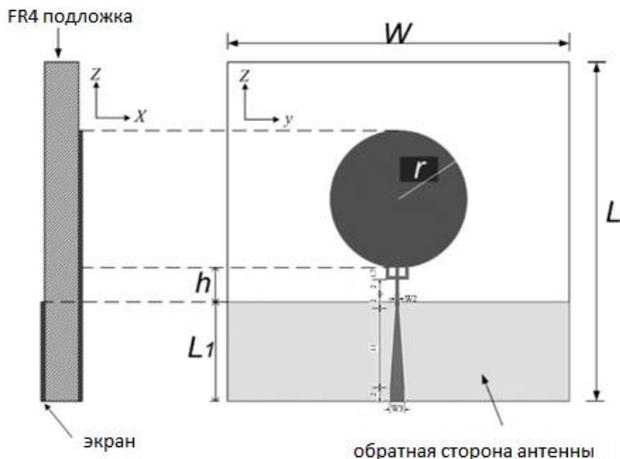


Рис. 1. Геометрия круглой СШП-антенны с трезубцем

Толщина микрополосковой линии питания меняется от $W_3=2,1$ мм до $W_2=0,58$ мм. Щель между излучателем и кромки заземляющей поверхности составляет $h=3$ мм. Высота трезубца равна 1,8 мм, а расстояние между микрополосковыми линиями трезубца равно 0,7 мм.

Ниже приведены результаты моделирования основных характеристик антенны в режиме излучения: коэффициент стоячей волны (КСВ), диаграмма направленности (ДН) и коэффициент усиления (КУ), выполненные в САПР CST Studio Suite.

Диаграмма направленности антенны на разных частотах представлена на рис. 2.

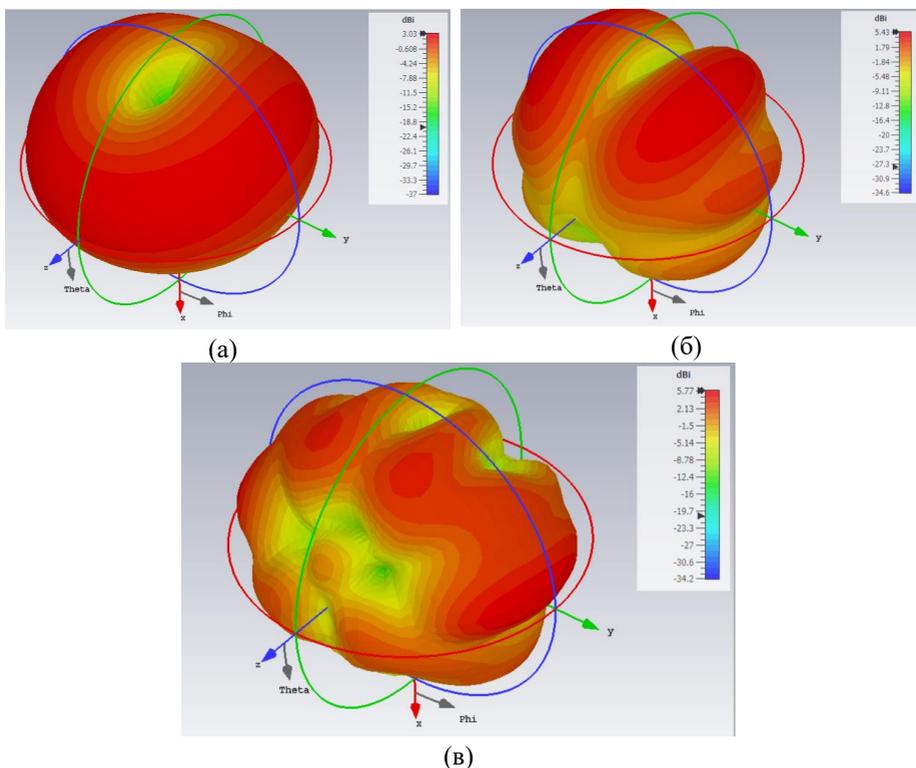


Рис. 2. ДН антенны на 5 ГГц (а), на 10 ГГц (б) и на 15 ГГц (в)

Как видно из рис. 2, форма ДН антенны относится к ненаправленным. С увеличением частоты в ДН появляются провалы, но ДН по-прежнему остается всенаправленной.

На рис. 3 представлена частотная зависимость КСВН антенны после выполнения оптимизации ее линии питания. В диапазоне от 2 до 20 ГГц КСВН лежит в пределах от 1 до 2, что соответствует коэффициенту отражения ниже -10 дБ.

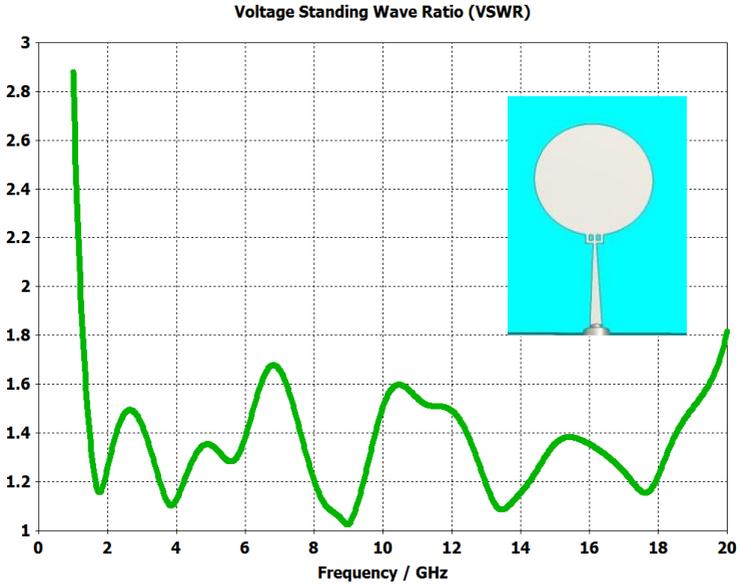


Рис. 3. Частотная характеристика КСВН антенны

На рис. 4 представлена частотная характеристика КСВ для двух вариантов антенн, которые различаются способом реализации линии питания.

Видно, что использование микрополосковой линии конической формы с трезубцем в месте соединения линии с излучателем дает более равномерную характеристику в исследуемом диапазоне, не превышающем 1,75. Кроме того, такая схема питания обеспечивает расширение рабочего диапазона частот. КСВ ниже 2 уже достигается при частотах 1,25 ГГц, в то время как при однородной линии питания КСВ ниже двух наблюдается только начиная с 2,5 ГГц.

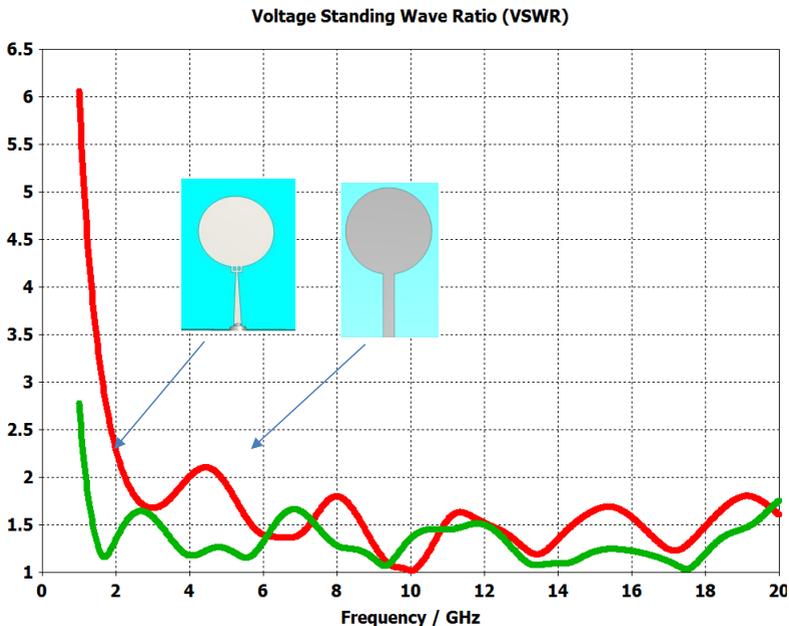


Рис. 4. Частотная характеристика КСВН антенн: с однородной микрополосковой линией питания (красная кривая), с микрополосковой линией конической формы с трезубцем в месте соединения с излучателем (зеленая кривая)

Модель исследуемой антенны был изготовлен методом лазерно-утюжной технологии (ЛУТ) и исследован с помощью векторного анализатора цепей. Для изготовления макета был использован материал диэлектрической подложки FR-4 с толщиной 1.5 мм, диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4.5$ и слоем медного покрытия толщиной 35 мкм. Изготовленный макет антенны и экспериментальные результаты коэффициента отражения представлены на рис.5.



а)



б)

Рис. 5 Физическая модель разработанной антенны (а) и результаты измерений коэффициента отражения (б)

На рис. 6 приведены в сравнении частотные результаты, рассчитанные в программе CST Studio Suite и экспериментальные результаты.

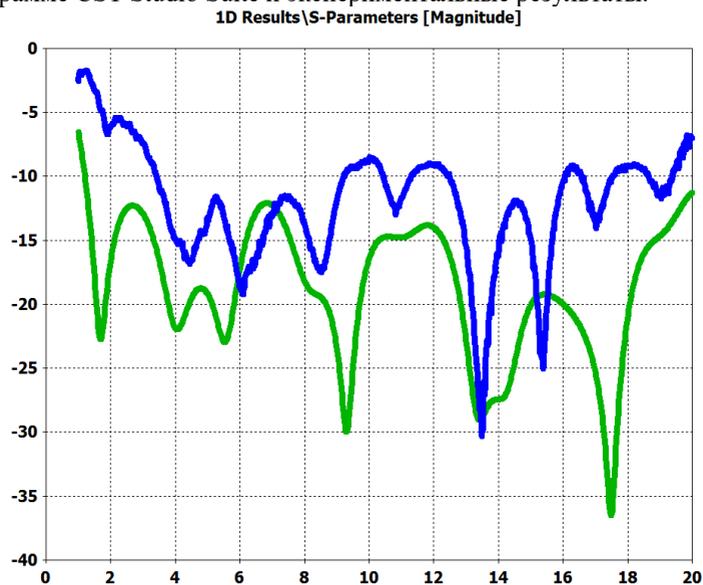


Рис. 6 Частотная зависимость коэффициента отражения: результаты численного моделирования (зеленая кривая) и экспериментальные данные (синяя кривая)

Качественно характеристика повторяет расчетную, однако имеющиеся отличия в абсолютных значениях в наибольшей степени отличаются в частотном диапазоне с 2 ГГц до 4 ГГц. Такие отличия можно объяснить тем, что не учитываются частотная дисперсия параметров подложки и заданные по техническим характеристикам параметры также могут отличаться в больших пределах ($\pm 15\%$) и возможные потери в SMA коннекторе, которые не учтены в математической модели. Кроме того, при изготовлении модели антенны наблюдался эффект подтравки и имелись некоторые погрешности переноса рисунка на диэлектрик методом ЛУТ. За счет толщины антенны SMA коннектор имел значительную щель с подложкой, что устранялось доработкой макета антенны и также сказалась на результатах исследования.

Выводы

Таким образом показано, что форма питающей линии антенны оказывает значительное влияние на коэффициент отражения антенны, наблюдается расширение рабочей полосы в сторону нижних частот по сравнению со стандартным способом реализации линии питания. Следует отметить, что модификация линии питания не оказывает существенного влияния на ДН антенны. Экспериментальные исследования подтвердили результаты численного моделирования. В дальнейшем предполагается рассмотреть возможность реализации данной антенны на полиамидной пленке или текстильной основе и учесть влияние на характеристики изгибов (деформации) антенны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Y. Duroc, A.I. Najam* "UWB Antennas: Design and Modeling," Ultra-Wideband, pp. 371-398, August 2010.
2. *Akdagli, A.; Ozdemir, C.; Yamacli, S.* (2008). A Review of Recent Patents on Ultra-Wide Band (UWB) Antennas. Recents Patents on Electrical Engineering, 2008. Vol. 1, No. 1, p.68–75
3. *Bao, X.L. & Amman, M.J.* (2007). Printed Band-Rejection UWB Antenna with H-Shaped Slot, Proceedings of International Workshop on Antenna Technology: Small and Smart Antennas Metamaterials and Applications, pp. 319-322, ISBN: 1-4244-1088-6, Cambridge, UK, March 2007.
4. *L. R. Arnaut* "Adaptive control and optimization of electromagnetic radiation, attenuation, and scattering using self-adaptive material systems," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 51, no. 7, pp. 1530-1548, July 2003.

5. Жамаладин Ж.Т., Кисель Н.Н. Исследование влияния CSRR-резонатора на рабочую полосу сверхширокополосной микрополосковой антенны// В сборнике: Проблемы современной системотехники. Сборник научных статей. Таганрог, 2023. С. 100-105

6. Жамаладин Ж.Т., Кисель Н.Н. Моделирование характеристик СШП-антенны с CSRR-Резонатором// В сборнике: Инженер настоящего и будущего: практика и перспективы развития партнерства в высшем техническом образовании. Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Донецк, 2023. С. 186-188.

7. Гузь Е.Э., Кисель Н.Н. Экспериментальное и численное моделирование микрополосковой антенны для БПЛА// В сборнике: Проблемы современной системотехники. Сборник научных статей. Таганрог, 2023. С. 91-95.

8. Дзуцев Р.К., Кисель Н.Н. Сравнительный анализ результатов численного моделирования и экспериментального исследования характеристик сверхширокополосной антенны для беспроводных систем связи// В сборнике: Проблемы современной системотехники. Сборник научных статей. Таганрог, 2023. С. 95-100

9. Дзуцев Р.К., Кисель Н.Н. Исследование характеристик сверхширокополосной антенны для беспроводных систем связи// В сборнике: Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении КомТех-2023. Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко в двух томах. 2023. С. 161-168.

10. Кисель Н.Н. Основы компьютерного проектирования РЭС САПР СВЧ//учебное пособие. Таганрог, 2016.

Моисеенко Иван Евгеньевич, магистрант Института радиотехнических систем и управления, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский 44, 347900, телефон: +7(964)-910-84-79, e-mail: ivmoiseenko@sfedu.ru

Кисель Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры антенн и радиопередающих устройств Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Некрасовский, 44, 347900, телефон: +7 (8634) 37-16-34, e-mail: nnkisel@sfedu.ru.

Moiseenko Ivan Evgenievich, magistant Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky street, 44, 347900, phone: +7 (964) 910-84-79, e-mail: ivmoiseenko@sfedu.ru.

Kisel Natalya Nikolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Antennas and Radio Transmitting Devices of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky street, 44, 347900, phone: +7 (8634) 37-16-34, email: nkisel@sfedu.ru.

УДК 538.951

Конченков Владимир Игоревич, Полянский Евгений Олегович

ВЫЧИСЛЕНИЕ ФОНОННОГО СПЕКТРА ЧЕРНОГО ФОСФОРЕНА

С использованием пакета EPW, относящегося к пакету Quantum ESPRESSO, вычислена плотность состояний фононов в черном фосфоре. Результаты сравниваются с данными экспериментов.

Черный фосфорен, фононный спектр.

Konchenkov Vladimir Igorevich, Polyanskiy Eugeny Olegovich

A CALCULATION OF BLACK PHOSPHORENE PHONON SPECTRUM

Using the EPW package related to the Quantum ESPRESSO package, the density of phonon states in black phosphorene was calculated. The results are compared with experimental data.

Black phosphorene, phonon spectrum.

Введение

Черный фосфорен – двумерный материал, экспериментально открытый в 2014 году, обладает рядом интересных свойств, в том числе существенной анизотропией энергетического спектра [1-4]. Для исследования транспортных свойств этого материала необходимо знать типы фононов, присущих этому материалу, их законы дисперсии, а также коэффициенты электрон-фононного взаимодействия (см., например, [5]). В работе [6] приведены экспериментальные исследования фононных спектров фосфорена. В работе [7] фононные спектры фосфорена исследуются теоретически. В настоящей работе предпринята попытка проделать вычисление плотности состояний фононов в фосфоре при помощи пакета EPW [8], входящего в состав Quantum ESPRESSO [9].

Моделирование фононного спектра черного фосфорена в пакете EPW

В работе использовался пакет Quantum ESPRESSO версии 7.3. Установка и настройка пакета EPW в составе Quantum ESPRESSO (QE) выполнялась согласно рекомендациям [8].

Создаем папку phosphorene в директории QE.

Для проведения расчета scf создаем файл pscf.in, в котором определяем базовые настройки, а также задаем положение атомов в моделируемой ячейке фосфорена. В разделе control задан тип расчета, префикс, который будет использован при формировании имен выходных файлов, определяется шаг по времени, частота сохранения промежуточных результатов в файлы.

```
&control
  calculation      = 'scf'
  prefix           = 'phosphorene'
  restart_mode     = 'from_scratch'
  wf_collect       = .true.
  pseudo_dir       = './ps'
  outdir           = './'
  tprnfor          = .true.
  tstress          = .true.
  nstep            = 1000
  iprint           = 1
  isave            = 100
  dt               = 2.0
  ndw              = 50
  etot_conv_thr    = 1.d-9
  ekin_conv_thr    = 1.d-7
/
```

В разделе system указывается тип решетки Браве. Хотя для фосфорена известен тип решетки, указано значение параметра `ibrav = 0`, что означает, что эти сведения не используются, а сама моделируемая ячейка задается далее положением атомов. В этом же разделе указывается количество атомов в моделируемой ячейке (`nat = 16`).

```
&system
  ibrav            = 0
```

```

nat           = 16
ntyp          = 1
ecutwfc       = 60
ecutrho       = 360
nr1b          = 20
nr2b          = 20
nr3b          = 20

```

/

В проводимых расчетах будет учитываться только динамика электронов, динамикой ионов будем пренебрегать.

```

&ELECTRONS
  electron_dynamics = 'damp',
  electron_damping=0.1,
  emass=300,
  orthogonalization='ortho',
  ortho_eps=1d-11,
  ortho_max=1000

```

/

```

&IONS
  ion_dynamics='none'

```

/

В коде ниже указывается ссылка на файл псевдопотенциала фосфора, а также позиции атомов, координаты векторов прямой решетки (в рассматриваемом случае определяются выбором элементарной ячейки моделирования).

```

ATOMIC_SPECIES
P 30.973762d0 P.pbe-nl-rrkjus_psl.1.0.0.UPF

```

```

ATOMIC_POSITIONS {angstrom}

```

```

P      1.64946  4.21132  13.3133
P      0.00000  2.72483  13.3133

```

```

P      1.64946  0.412741  11.2111
P      0.00000  1.89923  11.2111
P      1.64946  8.83537  13.3133
P      0.00000  7.34888  13.3133
P      1.64946  5.0368  11.2111
P      0.00000  6.52329  11.2111
P      4.94838  4.21132  13.3133
P      3.29892  2.72483  13.3133
P      4.94838  0.412741  11.2111
P      3.29892  1.89923  11.2111
P      4.94838  8.83537  13.3133
P      3.29892  7.34888  13.3133
P      4.94838  5.0368  11.2111
P      3.29892  6.52329  11.2111

```

CELL_PARAMETERS {angstrom}

```

6.59784  0.000000000  0.000000000
0.000000000  9.24811  0.000000000
0.000000000  0.000000000  20.0243944325025112

```

K_POINTS automatic

```
4 4 4 1 1 1
```

Запуск расчетов осуществляем командой:

```
mpirun -20 N ../../bin/pw.x -npool 20 < pscf.in > pscf.out
```

Собственно вычисление динамической матрицы задаем в файле pph.in.

```

&inputph
  prefix = 'phosphorene'
  epsil  = .false.,
  fildyn = 'phosphorene.dyn',
  ldisp  = .true.
  fildvscf = 'dvscf'
  nq1=2,

```

```

nq2=2,
nq3=2,
tr2_ph = 1.0d-12
/

```

Запуск расчетов осуществляется следующей командой:

```
mpirun -20 N ../../bin/ph.x -npool 20 < pph.in > pph.out
```

Теперь, имея частоты фононов и вариации самосогласованного потенциала, приступаем к выполнению обратного преобразования Фурье динамической матрицы. Чтобы получить обратные компоненты Фурье в реальном пространстве, используем программу q2r.x. Ниже приведен наш входной файл pq2r.in:

```

&INPUT
  fildyn = 'phosphorene.dyn'
  zasr = 'crystal'
  flfrc = 'phosphorene.fc'
/

```

Запускаем данный входной файл командой:

```
mpirun -np 20 q2r.x -i pq2r.in > pq2r.out
```

Наконец, выполним преобразование Фурье компонентов реального пространства, чтобы получить динамическую матрицу при любом q с помощью matdyn.x.

```

&INPUT
  asr = 'crystal'
  flfrc = 'phosphorene.fc'
  flfrq = 'phosphorene.freq'
  flvec = 'phosphorene.modes'
! loto_2d = .true.
  q_in_band_form = .true.
/

```

6

```
0.50000000 0.50000000 0.50000000 1 ! G
0.50000000 0.50000000 1.00000000 20 ! Z
0.50000000 1.00000000 1.00000000 20 ! T
0.50000000 1.00000000 0.50000000 20 ! Y
0.50000000 0.50000000 0.50000000 20 ! G
1.00000000 1.00000000 0.50000000 28 ! S
```

В этом файле указаны пути в пространстве волновых векторов между точками высокой симметрии. На рис. 1 показана первая зона Бриллюэна черного фосфорена и отмечено положение точек Γ , Z, T, Y, S, R, U, X. Запускаем входной файл:

```
mpirun -np 20 matdyn.x -i pmatdyn.in > pmatdyn.out
```

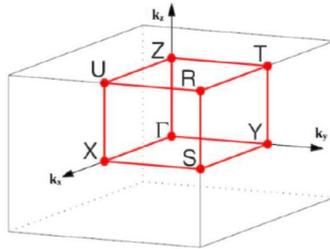


Рис. 1. Расположение точек высокой симметрии в первой зоне Бриллюэна черного фосфорена [10]

Далее вычисляем фононную плотность состояний, которая представляет гистограмму количества фононных состояний в частотном интервале. Пики и особенности в DOS показывают плотность колебательных мод на определенных частотах. Входной файл для расчета `pmatdyn.dos.in` приведен ниже.

```
&INPUT
asr   = 'crystal'
flfrc = 'phosphorene.fc'
flfrq = 'phosphorene.dos.freq'
flvec = 'phosphorene.dos.modes'
dos   = .true.
```

```
fidos = 'phosphorene.dos'  
nk1 = 25  
nk2 = 25  
nk3 = 25
```

/

Запуск вычислений осуществляется следующим образом:

```
mpirun -np 20 matdyn.x -i pmatdyn.dos.in > pmatdyn.dos.out
```

На рис. 2 показан график плотности фоновых состояний. Распределение фоновых состояний сходно с графиками, представленными в работе [6], полученными на основе анализа экспериментальных данных.

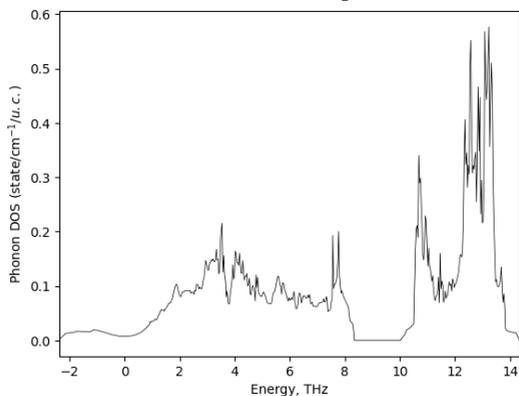


Рис. 2. График плотности фоновых состояний

Выводы

В рамках работы выполнено моделирование плотности фоновых состояний в черном фосфорене при помощи пакета EPW, входящего в пакет Quantum ESPRESSO. Полученные графики распределения плотности фоновых состояний коррелируют с графиками, полученными в ходе экспериментальных исследований [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Li P., Appelbaum I. Electrons and holes in phosphorene // Phys. Rev. B. - V. 90. - P. 115439 (2014).
2. Lew Yan Voon L. C., Wang J., Zhang Y., Willatzen M. Band parameters of phosphorene // Journal of Physics: Conference Series. - V. 633. – P. 012042 (2015).

3. Luo Z., Maassen J., Deng Y., Du Y., Garrelts R.P., Lundstrom M.S., Ye P.D., Xu X. Anisotropic in-plane thermal conductivity observed in few-layer black phosphorus // Nature Communications. - V. 6. P. 8572 (2015).
4. Lew Yan Voon L.C., Lopez-Bezanilla A., Wang J., Zhang Y., Willatzen M. Effective Hamiltonians for phosphorene and silicone // New Journal of Physics. – V. 17. – P. 025004 (2015).
5. Zhou J., Liao B., Qiu B., Huberman S., Esfarjani K., Dresselhaus M.S., Chen G. Ab initio optimization of phonon drag effect for lower-temperature thermoelectric energy conversion // Proceedings of the National Academy of Sciences - V. 112 (48). – P. 14777-14782 (2015).
6. Pogna E.A.A., Bosak A., Chumakova A., Milman V., Winkler B., Viti L., Vitello M.S. Lattice dynamics and elastic properties of black phosphorus // Phys. Rev. B – V. 105. - P. 184306 (2022).
7. Qin G., Zhang X., Yue Sh.-Y., Qin Zh., Wang H., Han Y., Hu M. Resonant bonding driven giant phonon anharmonicity and low thermal conductivity of phosphorene // Phys. Rev. B – V. 94. – P. 165445 (2016).
8. Electron-phonon physics from first principles // EPW – URL: <https://epw-code.org/> (дата обращения: 15.06.2024).
9. Quantum ESPRESSO // Quantum ESPRESSO – URL: <https://www.quantum-espresso.org/> (дата обращения: 15.06.2024).
10. Pantha N., Chauhan B., Sharma P., Adhikari N. P. Tuning structural and electronic properties of phosphorene with vacancies // Journal of Nepal Physical Society. – V. 6. – Is. 1. – P. 7-15 (2020).

Конченков Владимир Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Электронно-вычислительные машины и системы» Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, проспект им. В.И. Ленина 28, 400005, телефон: +7 904 756 86 41, email: kontchenkov@yandex.ru;

Полянский Евгений Олегович, аспирант кафедры «Физика» Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, проспект им. В.И. Ленина 28, 400005, телефон: +7 919 799 92 98, email: irongamer@yandex.ru.

Konchenkov Vladimir Igorevich, Associate Professor of the Department of Electronic Computing Machines and Systems, Volgograd State Technical University, 28 V.I.

Lenin Ave., Volgograd, Russia, 400005, phone: +7 904 756 86 41, e-mail: kontchenkov@yandex.ru

Polyanskiy Eugeni Olegovich, postgraduate student of the Department of Physics, Volgograd State Technical University, 28 V.I. Lenin Ave., Volgograd, Russia, 400005, phone: +7 919 799 92 98, email: iron gamer@yandex.ru.

УДК 004.85

Абдрахманов Дмитрий Леватович, Конченков Владимир Игоревич,
Лукьянов Артем Олегович, Тарабанова Татьяна Владимировна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПАКЕТЕ LAMMPS С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТЕНЦИАЛА МЕЖАТОМНОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, ПОЛУЧЕННОГО СЕТЬЮ SCHNET**

Описан опыт использования пакета моделирования методом классической молекулярной динамики LAMMPS с потенциалом межатомного взаимодействия, вычисляемым при помощи сверточной нейронной сети SchNet. Обсуждаются особенности сборки пакета LAMMPS для эффективного использования графического процессора в расчетах.

Молекулярная динамика, нейросетевой потенциал, графический процессор, вычислительный кластер.

Abdrakhmanov Dmitry Levatovich, Konchenkov Vladimir Igorevich,
Lukyanov Artyom Olegovich, Tarabanova Tatyana Vladimirovna

**INVESTIGATION OF THE COMPUTATIONAL EFFICIENCY OF
MODELING IN THE LAMMPS PACKAGE USING THE POTENTIAL
OF INTERATOMIC INTERACTION OBTAINED BY THE SCHNET
NETWORK**

The experience of using the LAMMPS classical molecular dynamics simulation package with the potential of interatomic interaction calculated using the convolutional neural network SchNet is described. The features of the LAMMPS package assembly for efficient use of the GPU in calculations are discussed.

Molecular dynamics, neural network potential, graphics processor, computing cluster.

Введение

Моделирование методом молекулярной динамики является широко применяемым методом для исследования транспортных, тепловых и других физических свойств различных материалов, в том числе кристаллических, аморфных, а также низкоразмерных систем. Различают квантовую молекулярную динамику (англ. *ab initio* molecular dynamics, AIMD) и классическую молекулярную динамику (англ. classical molecular dynamics, CMD). Несмотря на высокую точность, AIMD подходит только для небольших систем (не более нескольких сотен атомов) и модельных временных промежутков не более сотен фемтосекунд. С другой стороны, CMD позволяет рассматривать системы, состоящие из миллионов атомов на модельных временах порядка наносекунд. В рамках классической молекулярной динамики необходимо, кроме начальных координат и скоростей частиц, знать силовое поле в образце. Подобрать подходящую, дающую физически обоснованные результаты модель силового поля – особое искусство. С развитием методов глубокого обучения появился следующий подход к получению потенциала межатомного взаимодействия, позволяющего сохранить точность AIMD-методов, но рассматривать размеры образцов и модельные времена, характерные для классической молекулярной динамики. Нейронная сеть обучается на данных AIMD (признаки – положения атомов, свойства – силы, действующие на каждый из атомов, и энергия всей системы), а затем обученная нейронная сеть встраивается в систему моделирования методом классической молекулярной динамики (например, LAMMPS [1]) в качестве функции, вычисляющей силовое поле. Одним из лидеров является пакет DeePMD, построенный на использовании полносвязной нейронной сети. В работе [2] рассматривается моделирование черного фосфорена с использованием пакетов DeePMD и LAMMPS, получены близкие к экспериментальным значения плотности и теплопроводности образца. В работе [3] рассматривается моделирование силового поля полимера – полифениленсульфида, показано, что из-за большого числа конфигураций, формируемых тепловым движением в этом материале (по сравнению с кристаллическим материалом) полносвязная нейронная сеть пакета DeePMD не в состоянии адекватно представить силовое поле. В связи с этим вызывают интерес исследования применимости нейронных

сетей других архитектур к задаче восстановления силовых полей кристаллических и аморфных материалов. В настоящей работе рассматривается сеть SchNet [4, 5] – сверточная сеть с непрерывной фильтрацией (англ. continuous-filter convolutional neural network). Как и DeePMD, пакет SchNetPack поддерживает интеграцию с пакетом LAMMPS. В работе приводится описание особенностей сборки LAMMPS совместно с SchNetPack на кластере Волгоградского государственного технического университета с поддержкой расчетов на видеокарте при помощи технологии NVidia CUDA.

Конфигурация вычислительного кластера

Кластер Волгоградского государственного технического университета, в числе прочего, оснащен вычислительными узлами, имеющими в своем составе видеокарты NVidia GeForce RTX 3060. На кластере работает очередь SLURM, используется операционная система Rocky 8, являющаяся бесплатным аналогом Red Hat Enterprise Linux. Вычислительные узлы связаны друг с другом по сети Infiniband. Согласно руководству по установке пакета SchNetPack 2.0 [4], для функционирования этого пакета совместно с LAMMPS необходимо установить пакет CUDA 11.7. Основной сложностью является корректная сборка LAMMPS с учетом настроек кластера. Ниже приведены основные настройки, хранящиеся в файле `~/bashrc` пользователя.

```
source /opt/rh/gcc-toolset-11/enable
```

Эта строка определяет стандартную для RHEL-подобных систем замену системного gcc-8 для версии Rocky 8.x на версию gcc-11.

```
export PATH="/opt/cuda/cuda-11.7/bin/:$PATH"
```

Данная команда включает в стандартные пути исполняемые файлы компилятора Nvidia Cuda (nvcc) и его отдельных компонентов

```
export PATH="/home/test_user/cmake/bin/:$PATH"
```

```
export PATH="/home/test_user/miniconda3/:$PATH"
```

Данные строки указывают пути к расположению miniconda3 и cmake. Эти программы установлены в домашней директории пользователя, что существенно облегчает настройку окружения, давая возможность пользователю собрать свои варианты пакета LAMMPS, не затрагивая файлы других пользователей кластера.

Сборка пакета LAMMPS

Сборка пакета LAMMPS осуществляется согласно разделу “LAMMPS Interface” руководства [4]: при помощи conda создается окружение

spk_lammps с нужными зависимостями, это окружение активируется, затем при помощи пакетного менеджера pip устанавливается пакет schnetpack.

```
conda create -n spk_lammps python=3.9 cuda-toolkit=11.7 pytorch
mkl-include numpy -c pytorch -c nvidia
conda activate spk_lammps
pip install schnetpack
```

После этого клонируем репозиторий LAMMPS и загружаем файлы pair_schnetpack.cpp, pair_schnetpack.h, patch_lammps.sh:

```
git clone --depth 1 git@github.com:lammps/lammps
cd ~/miniconda/envs/spk_lammps/lib/python3.9/site-packages/
schnetpack/interfaces/
mkdir spk_lammps
cd spk_lammps
...
wget https://raw.githubusercontent.com/atomistic-machine-learning/schnetpack/master/interfaces/lammps/patch\_lammps.sh
chmod u+x patch_lammps.sh
```

Пакет SchNetPack 2.0 предполагает использование версии pytorch 1.13, а при описанных выше настройках устанавливается версия 2.x этого пакета. Проблема решается исправлением в файле patch_lammps.sh версии стандарта C++. Ниже приведен фрагмент файла patch_lammps.sh, в котором при использовании Torch заменяется версия 11 стандарта C++ на версию 14. Для использования версий 2.x пакета pytorch необходимо в этой части файла patch_lammps.sh исправить значение параметра CMAKE_CXX_STANDARD с 14 на 17.

```
sed -i "s/set(CMAKE_CXX_STANDARD 11)/set(CMAKE_CXX_STANDARD 14)/" $lammps_dir/cmake/CMakeLists.txt
```

Далее применяем скрипт patch_lammps.sh:

```
./patch_lammps.sh <path/to/lammps>
cd <path/to/lammps>
mkdir build
cd build
```

В руководстве [6] подготовку сборки рекомендуется осуществлять следующей командой:

```
cmake ../cmake -DCMAKE_PREFIX_PATH=`python -c 'import torch;print(torch.utils.cmake_prefix_path)``` -DMKL_INCLUDE_DIR="$CONDA_PREFIX/include"
```

На используемой вычислительной системе представленная команда стала работоспособной только с некоторыми дополнениями. Пакет LAMMPS может быть собран как с поддержкой вычислений на графических процессорах (GPU), так и без такой поддержки. Основным фактором возможности организации эффективных вычислений при помощи графического процессора является наличие потенциала межатомного взаимодействия, поддерживающего вычисления на видеокарте. В случае использования нейросетевого потенциала, формируемого сетью SchNet, такая поддержка есть. В пакете LAMMPS поддержка вычислений с использованием технологии CUDA может осуществляться различными способами. Ниже приведен скрипт, который осуществляет взаимодействие LAMMPS с видеокартой через пакет GPU.

```

cmake      ../cmake      -DCMAKE_MINIMUM_REQUIRED=3.8      -
DCMAKE_CXX_STANDARD=17      -DCMAKE_CXX_STANDARD_REQUIRED=ON      -
DCMAKE_CXX_EXTENSIONS=OFF
-DCMAKE_C_COMPILER=/opt/rh/gcc-toolset-11/root/usr/bin/gcc
-DCMAKE_CXX_COMPILER=/opt/rh/gcc-toolset-11/root/usr/bin/g++
-DCMAKE_BUILD_TYPE=Release -DUSE_CUDA=ON
-DCMAKE_CUDA_ARCHITECTURES=86
-DCUDA_TOOLKIT_ROOT_DIR=/opt/cuda/cuda-11.7
-DCMAKE_CUDA_COMPILER=/opt/cuda/cuda-11.7/bin/nvcc
-DCAFFE2_USE_CUDNN=1 -DCAFFE2_USE_CUSPARSELT=ON
-DCUSPARSELT_INCLUDE_PATH=/home/test_user/cusparselt/include
-DCUSPARSELT_LIBRARY_PATH=/home/test_user/cusparselt/lib
-DCMAKE_PREFIX_PATH=
`python -c 'import torch;print(torch.utils.cmake_prefix_path)``
-DMKL_INCLUDE_DIR="$CONDA_PREFIX/include" -DPKG_RIGID=yes
-DPKG_GPU=ON -DGPU_API=cuda -DGPU_PREC=mixed -DGPU_ARCH=sm_86
-DCUDPP_OPT=NO -DCUDA_MPS_SUPPORT=YES

```

В приведенном выше скрипте явно указаны пути к установке CUDA Toolkit, а также библиотек CuDNN, Caffe2, используемых Torch при вычислениях на видеокарте. После конфигурирования, выполняемого пакетом CMAKE, осуществляем сборку командой

```
make -j$(nproc)
```

Для использования нейросетевой модели, обученной при помощи пакета SchNetPack, необходимо выполнить команду

```
spkdeploy phosphorene_model_400 phosphorene_model
```

Во входном файле для LAMMPS нужно указать (16 – количество атомов в моделируемой элементарной ячейке фосфорена)

```
newton          off
pair_style      schnetpack
pair_coeff       * * phosphorene_model 16
```

Производительность вычислений

Пакет LAMMPS при сборке с использованием скрипта, представленного выше, может выполнять все расчеты на видеокарте. Основным ограничивающим фактором является объем памяти видеокарты, доступной для вычислений (в нашем случае – 12 Гб). Наиболее затратной по использованию памяти является операция по построению списка соседей. Список соседей строится в процессе обучения нейронной сети. Поскольку постоянные решетки у рассматриваемого в нашем примере черного фосфорена $a_x = 4.376 \text{ \AA}$, $a_y = 3.314 \text{ \AA}$, а радиус обрезки (радиус, в рамках которого учитывается взаимодействие выбранного атома с соседними атомами) должен быть не менее постоянной решетки, выбираем радиус обрезки $r_c = 5.0 \text{ \AA}$. При этом размер батча данных при обучении сети на видеокарте составляет $\text{batch_size} = 200 \dots 300$, при больших значениях наблюдается переполнение памяти видеокарты. Общее количество атомов в модели равно 5888. При использовании вычисляемого нейронной сетью потенциала при моделировании методом классической молекулярной динамики список соседей также строится, причем операции записи и чтения из памяти видеокарты занимают большую часть времени. Поэтому, хотя можно собрать LAMMPS без использования пакета GPU, чтобы собственно расчеты молекулярных траекторий велись центральным процессором, существенной разницы в производительности нет. Кроме того, проводились вычислительные эксперименты по обучению нейронной сети и выполнению классической молекулярной динамики на ПК, не имеющем в своем составе видеокарту с поддержкой CUDA (процессор AMD Ryzen 3 5425U 2.70 GHz, 16 Гбт ОЗУ). В этом случае скорость обучения нейронной сети, как и ожидалось, была в несколько раз ниже, а расчет молекулярных траекторий производился за время, сравнимое со временем расчета на видеокарте. Плюсом от переноса всех расчетов LAMMPS на видеокарту вычислительной ноды кластера является, прежде всего, экономия вычислительного времени процессорных ядер.

Выводы

В рамках работы произведена настройка пакета SchNetPack, вычисляющего силовое поле, которое затем используется в пакете LAMMPS для вычисления молекулярных траекторий на примере приведения к равновесному состоянию образца черного фосфора. Обсуждаются особенности сборки пакета LAMMPS, вычислительная эффективность различных сборок. Показано, что использование видеокарты на этапе обучения нейронной сети и на этапе вычисления молекулярных траекторий является обоснованным решением.

Работа поддержана грантом РФФ 23-22-00461 «Исследование тепловых свойств упорядоченных и неупорядоченных низкоразмерных материалов методом молекулярного моделирования с потенциалами, полученными при помощи глубокого машинного обучения» (конкурс 2022 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <https://github.com/lammps/lammps>
2. *Шеин Д.В., Завьялов Д.В., Жариков Д.Н.* Моделирование фосфора методом классической молекулярной динамики с использованием глубокого обучения // Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2022 : тез. докл. IX Междунар. молодеж. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. проф. С. П. Распопина (г. Екатеринбург, 16-20 мая 2022 г.). Екатеринбург, 2022. - С. 330-331.
3. *Шеин Д.В., Завьялов Д.В., Конченков В.И.* Исследование применимости нейронных сетей с прямой связью для компьютерного моделирования полимеров // Журнал технической физики. 2023. Т. 93. Вып. 12. С. 1732 – 1735. DOI: 10.61011/JTF.2023.12.56806.f242-23
4. <https://schnetpack.readthedocs.io/en/latest/getstarted.html>
5. *Schütt K.T., Hessmann S.S.P., Gebauer N.W.A., Lederer J., Gastegger M.* SchNetPack 2.0: A neural network toolbox for atomistic machine learning // Journal of Chemical Physics. 2023. V. 158. Is. 14. P. 144801. DOI: 10.1063/5.0138367

Абдрахманов Дмитрий Леватович, преподаватель кафедры «Электронно-вычислительные машины и системы» Волгоградского государственного технического университета.

Конченков Владимир Игоревич, доцент кафедры «Электронно-вычислительные машины и системы» Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, 400005, телефон: +7 904 756 86 41, e-mail: kontchenkov@yandex.ru.

Лукьянов Артем Олегович, магистрант Волгоградского государственного технического университета.

Тарабанова Татьяна Владимировна, магистрант Волгоградского государственного технического университета.

Abdrakhmanov Dmitry Levatovich, Lecturer at the Department of Electronic Computing Machines and Systems, Volgograd State Technical University .

Konchenkov Vladimir Igorevich, Associate Professor of the Department of Electronic Computing Machines and Systems, Volgograd State Technical University, 28 V.I. Lenin Ave., Volgograd, Russia, 400005, phone: +7 904 756 86 41 , e-mail: kontchenkov@yandex.ru.

Lukyanov Artyom Olegovich, undergraduate student at Volgograd State Technical University.

Tarabanova Tatyana Vladimirovna, undergraduate student at Volgograd State Technical University.

УДК 656.13:681.518.5

Луговой Артём Романович, Пьявченко Алексей Олегович

ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ БОРТОВЫХ ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В данной работе рассматриваются вопросы, касающиеся принципов построения бортовых телематических систем для автомобильного транспорта. Описывается концепция телематики. Приводится описание функциональных возможностей и формулируются общие технические требования к бортовым телематическим системам на основе анализа существующих подходов к их построению.

Телематика, бортовая телематическая система, can-шина, автомобиль, диагностика, мониторинг, управление.

Lugovoy Artyom Romanovich, Pyavchenko Aleksey Olegovich

QUESTIONS OF BUILDING ON-BOARD TELEMATIC SYSTEMS OF MOTOR VEHICLES

This work addresses issues related to the principles of building onboard telematic systems for automotive transport. The concept of telematics is described, including the functional capabilities and general technical requirements for onboard telematic systems based on an analysis of existing approaches to their construction.

Telematics, onboard telematic system, can-bus, automobile, diagnostics, monitoring, management.

Введение

Концепция телематики транспортных средств (ТТС) заключается в применении технологий дистанционного сбора и передачи данных со встраиваемых датчиков транспортных средств (ТС) для информирования как самого водителя ТС, так и соответствующих сервисных и дорожных служб. Отсюда основные задачи бортовых телематических систем (БТС) состоят в сборе и первичной обработке данных о состоянии ТС, дорожной обстановки в целом, в контроле за техническим состоянием транспортных средств в режиме реального времени, в отслеживании местоположения ТС, в контроле стиля вождения водителя и др.

Повсеместное применение подобных систем востребовано сегодня среди организаций, предоставляющих услуги в различных сферах, включая транспортировку грузов и перевозку людей посредством автомобильного транспорта. Именно необходимость в повышении безопасности дорожного движения, уровня сервиса и логистического управления на дороге обуславливают сегодня актуальность как разработки и внедрения автотранспортных БТС, так и развития самой концепции ТТС.

Основная часть

Как показывает анализ электронных источников [1-5], находящихся в открытом доступе, в настоящее время современные автотранспортные БТС отличаются специализацией и поддерживаемым функционалом. Среди них можно выделить системы, обеспечивающие технический мониторинг значений контролируемых параметров и диагностику состояния автомобиля, его агрегатов; управление маршрутом следования и контроль за его соблюдением; обеспечение навигации на местности с применением спутниковых навигационных систем; обеспечение безопасности движения и отслеживание состояния дорожной обстановки; и некоторые другие.

Так система технического мониторинга и диагностики позволяет контролировать работу разных агрегатов автомобиля и выявлять неисправности в них. Она предупреждает водителя о таких возможных проблемах, как низкий уровень топлива, износ тормозов, уровень давления в шинах, низкий уровень заряда аккумуляторной батареи или проблемы с двигателем. Это помогает водителю своевременно реагировать и предотвращать поломки.

Системы безопасности обеспечиваются функциями контроля дистанции до препятствия, контроля стиля вождения, предупреждения о возможном столкновении с другими автотранспортными средствами.

Системы ТТС позволяют оперативно предоставлять соответствующим службам информацию о ситуации на дороге в режиме реального времени. Так системы аварийного оповещения экстренных служб в случае дорожно-транспортных происшествий (ДТП) или поломки ТС обеспечивают автоматический вызов экстренных служб, предоставляя информацию о расположении автомобиля и состоянии водителя в реальном времени. Наличие заранее установленной на автомобиле БТС, как правило, позволяет дорожным патрульно-постовым службам оперативно расследовать причины возникновения ДТП посредством анализа данных с соответствующих бортовых датчиков и имеющихся в составе системы средств видеонаблюдения.

Подобная БТС также может помочь в случае попытки угона транспортного средства: так, например, в случае соответствующего обращения пострадавшего владельца угнанной автомобиль может быть оперативно обнаружен и заблокирован извне со стороны специальных служб экстренной помощи, из-за чего злоумышленник не сможет ничего предпринять.

Системы обеспечения навигации на местности, управления маршрутом следования и контроля за его соблюдением позволяют создавать оптимальные маршруты с учетом данных о дорожной обстановке и других факторов, таких как погодные условия, ограничения скорости движения, ближайшие заправочные и сервисные станции, парковки, гостиницы, разные достопримечательности. Такие возможности системы позволяют водителю экономить время и избегать проблем на дороге.

Как известно [5, 6], простейшая телематическая система состоит из устройства, питающегося от автомобильной сети, которое при помощи GPS-модуля принимает со спутника данные о местоположении и передаёт их через GPRS-вышки. Далее информация поступает на сервер службы мониторинга.

Исходя из концепции и задач ТТС, главная особенность БТС заключается в поддержке современных коммуникационных интерфейсов [7-10], обеспечивающих сопряжение с бортовой информационно-управляющей системой (БИУС) и датчиками ТС, с устройствами беспроводной и проводной связи. Использование уже встроенных в автомобиль бортовых интерфейсов в качестве средств коммуникаций позволяет удешевить интеграцию БТС с бортовой информационно-управляющей системой ТС за счет использования существующей в автомобиле бортовой сети датчиков. Следовательно, при таком подходе БТС получает необходимые данные напрямую по CAN-шине автомобиля или аналогичной, встроенной в него.

Одним из наиболее распространённых модулей ТТС является ГРАНИТ ЭРА-ГЛОНАСС [11], служащий для работы в российской системе экстренного реагирования и устанавливаемый на ТС, эксплуатируемом в России. Этот модуль имеет встроенный блок интерфейса Bluetooth, акселерометр и гироскоп, а также поддерживаются интерфейсы CAN, USB, LIN, 2 универсальных дискретных входа/выхода и 2 аналоговых входа. Навигация осуществляется по спутниковым системам GPS/ГЛОНАСС. Также имеет 4 канала передачи данных: GSM/GPRS/UMTS/BLUETOOTH SMART, при помощи последнего возможна проверка состояния устройства

со смартфона. Данный модуль связывается через спутник с сервером, который принимает, обрабатывает и регистрирует информацию о происшествиях. В свою очередь через сервер информация поступает в систему формирования операторов экстренных служб, которая передает им информацию о происшествиях. Предусмотрено мобильное приложение для сотрудников Скорой помощи с целью сокращения времени их реакции на экстренный вызов и оперативного получения необходимой информации о происшествии. В случае происшествия или аварии водитель ТС, оснащённого ЭРА-ГЛОНАСС, может нажать кнопку экстренного вызова, после чего информация о происшествии автоматически передается на сервер, а операторы экстренных служб получают сообщение с информацией о месте аварии и контактными данными водителя.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что многие телематические системы имеют достаточно узкую направленность. На одном ТС может стоять сразу несколько БТС, иногда даже с дублирующими друг друга функциями.

Отсюда перспективная БТС должна строиться по принципу объединения функций существующих БТС в единую платформу с возможностью опционального отключения ненужных потенциальному заказчику функций. Кроме того, для повышения эффективности применения такой БТС следует расширить её функционал за счёт внедрения в её архитектуру рекомендательной информационно-советующей системы, обеспечивающей на основе комплексного прогнозного интеллектуального анализа состояния ТС и текущей дорожной обстановки выработку соответствующих рекомендаций по действиям водителя исходя из складывающейся ситуации и составленного прогноза на момент аварии. При этом на первый план выходит решение задачи обеспечения должной защиты данных и коммуникаций от несанкционированного доступа; динамического отслеживания и выполнения оперативной оценки самочувствия водителя по значениям встроенных датчиков с учётом накопленной предыстории; поддержка беспроводного взаимодействия с себе подобными БТС, установленными на ТС – участниках дорожного движения, с целью обеспечения обоюдной безопасности.

С целью предотвращения возникновения аварийной ситуации на дороге особенно актуальным является внедрение в БТС элементов искусственного интеллекта, обеспечивающего совокупный анализ видеоданных, состояния ТС, значений параметров движения с учётом имеющихся на те-

кущий момент времени кинематических и динамических свойств автомобиля, краткосрочных и долгосрочных тенденций окружающей обстановки, включая погодные условия, результаты взаимодействия с аналогичными модулями ТС, находящихся в потоке движения или на встречных курсах.

Выводы

На наш взгляд, решение задачи построения многофункциональной БТС, интегрируемой наподобие, ЭРА-ГЛОНАСС в автомобильную бортовую коммуникационную сеть, позволит в перспективе, в том числе и за счёт унификации, создать иерархические сети регионального и глобального контроля за перемещением ТС, их состоянием. В конечном счёте это в перспективе обеспечит необходимое повышение безопасности движения на дорогах, улучшение эксплуатационных характеристик самих ТС, повышение уровня эффективности от их применения, а также сделает вождение более комфортным в том числе и с учетом скорого массового появления на дорогах России беспилотных экипажей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Chia-Li Lin*. Evaluating vehicle telematics system by using a novel MCDM techniques with dependence and feedback. Chia-Li Lin, Meng-Shu Hsieh, Gwo-Hsiung Tzeng // www.sciencedirect.com URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417410000163> (дата обращения: 11.05.2024) – Текст: электронный.

2. *Noriyuki Kushiro*. Initial Practice of Telematics-Based Prognostics for Commercial Vehicles: Analysis Tool for Building Faults Progress Model for Trucks on Telematics Data / Noriyuki Kushiro, Yusuke Oniduka, Yoichi Sakura // www.sciencedirect.com URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917316514> (дата обращения: 11.05.2024) – Текст: электронный.

3. *Шагов Н.С., Мамедова Н.А., Уринцов А.И.* Особенности разработки распределённого аппаратно-программного комплекса для контроля исполнения решений в области транспортной телематики // cyberleninka.ru URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razrabotki-raspredelennogo-apparatno-programmnogo-kompleksa-dlya-kontrolya-ispolneniya-resheniy-v-oblasti-transportnoy> (дата обращения: 11.05.2024) – Текст: электронный.

4. Патент № RU65658U1, МПК G01S5/12 G08B25/08. Телематический модуль системы мониторинга транспортных средств: №2007112310/22, заяв. 03.04.2007; опубл. 10.08.2007 / Ю.М. Урличич, В.В. Гвоздев, В.О. Большаков,

И.Б. Зимин; патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения». – URL:

[https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/RU65658U1_20070810?q=телематическ
ие%20транспортные%20системы&from=search_simple&hash=2085399496](https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/RU65658U1_20070810?q=телематическ
ие%20транспортные%20системы&from=search_simple&hash=2085399496) (дата обращения: 21.12.2023) – Текст: электронный.

5. Пьявченко А.О., Воронов С.С. Принципы построения автомобильной системы объективного контроля // ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ (ИТСАУ-2021). Сборник трудов XIX Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Ростов-на-Дону – Таганрог, 2021. С. 68-73.

6. Телематическая система автомобиля // habr.com URL: <https://habr.com/ru/companies/3rdman/articles/706724/> (дата обращения: 15.05.2024) – Текст: электронный.

7. CAN-шина // easyelectronics.ru URL: <https://easyelectronics.ru/can-shina.html> (дата обращения: 11.05.2024) – Текст: электронный.

8. microtechnics.ru URL: <https://microtechnics.ru/osnovy-interfejsa-usb/> (дата обращения: 11.05.2024) – Текст: электронный.

9. Обзор стандарта RS-232 // www.gaw.ru URL: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/rs232/start.htm> (дата обращения: 11.05.2024) – Текст: электронный.

10. Интерфейс RS-485 // easyelectronics.ru URL: <https://easyelectronics.ru/interfejs-rs-485.html> (дата обращения: 11.05.2024) – Текст: электронный.

11. Телематический терминал ГРАНИТ ЭРА-ГЛОНАСС // stavtrack.ru URL: <https://www.stavtrack.ru/oborudovanie/granit-era-glonass.html> (дата обращения: 11.05.2024) – Текст: электронный.

Луговой Артём Романович, студент 1-го курса магистратуры, кафедра вычислительной техники, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, 347900, email: alugovoy@sfedu.ru

Пьявченко Алексей Олегович, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Энгельса 1, 347900, email: aorp61@mail.ru.

Lugovoy Artyom Romanovich, 1rd year Graduate student, Department of Computer Engineering, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Taganrog, Russia, Taganrog city, Rostov Region, 347900, email: alugovoy@sfnedu.ru.

Pyavchenko Aleksey Olegovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science, Institute of Computer Technologies and Information Security, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 1 Engels Street, 347900, email: aop61@mail.ru.

УДК 504.064.3:004.896

Спиридонов Олег Борисович, Милешко Леонид Петрович,
Лобов Павел Николаевич

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ, АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ И КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Обобщены результаты исследований авторов по заявленной теме. Актуальность предпринятого исследования определяется тем, что прогресс в данном направлении может быть обусловлен обогащением имеющегося в наличии мониторингового арсенала новейшим аппаратным оснащением, в том числе, для контроля концентрации металлов в водной среде и почве. Целью настоящей работы является анализ возможных путей создания универсальной мультисенсорной системы, способной реализовать комплексный экологический мониторинг, которая может быть как автономной, так и входить в аппаратно-программные комплексы и киберфизические системы. Научная новизна состоит в постановке и попытке решения проблемы поиска универсального метода обучения нейронных сетей. Практическое значение заключается в повышении эффективности и точности измерений уровня загрязненности атмосферного воздуха и водных объектов.

Мультисенсорная система; аппаратно-программный комплекс; киберфизическая система; экологический мониторинг; тяжёлые металлы; ионоселективные электроды; искусственные нейронные сети; сети Кохонена; радиальные базисные сети.

Spiridonov Oleg Borisovich, Milesenko Leonid Petrovich,
Lobov Pavel Nikolaevich

METHODOLOGY OF DESIGNING MULTISENSORY SYSTEMS, HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEXES AND CYBERPHYSICAL SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING

The results of the authors' research on the stated topic are summarized. The relevance of the undertaken research is determined by the fact that progress in this direction may be due to the enrichment of the available monitoring arsenal with the latest hardware, including for monitoring the concentration of metals in the aquatic environment and soil. The purpose of this work is to analyze possible ways to create a universal multisensory system capable of implementing integrated environmental monitoring, which can be both autonomous and included in hardware and software complexes and cyberphysical systems. The scientific novelty consists in the formulation and attempt to solve the problem of finding a universal method of training neural networks. The practical importance lies in improving the efficiency and accuracy of measurements of the level of pollution of atmospheric air and water bodies.

Multisensory system; hardware and software complex; cyberphysical system; environmental monitoring; heavy metals; ion-selective electrodes; artificial neural networks; Kohonen networks; radial basis networks.

Введение

Фундаментальные основы одного из перспективных научных направлений по распределенным системам сбора и обработки информации датчиков заложены профессором О. Н. Пьявченко в работах [1-3] и других за период с 2010 по 2013 годы. В частности, в статье «Распределенные потоковые микрокомпьютерные системы сбора и обработки данных с датчиков динамических объектов» [1] «исследуются вопросы создания высокопроизводительных потоковых локальных информационных микрокомпьютерных систем, предназначенных для мониторинга (определения траектории, состояния, управления и контроля) в реальном времени сложных динамических объектов. Сбор и обработка значений сигналов датчиков основаны на потоковой четырехуровневой обработке интервалов дискретизации решения. При этом сигналы оцифровываются параллельно группами сигналов, каждый из которых последовательно формируется в цикле. Для построения таких систем используются информационные микроконтроллерные модули, позволяющие создавать разнообразие схем обработки сиг-

налов потокоориентированных датчиков. Рассмотрены и оценены последовательные и последовательно-параллельные схемы с групповой обработкой данных датчиков и схемы параллельного решения триад задач. Показана перспективность последовательно-параллельных схем с групповой обработкой сигналов датчиков при использовании этих схем на входах четвертого уровня в многоканальных устройствах связи для сбора пакетов данных».

Принципы его общей теории могут быть эффективно использованы при разработке новых мультисенсорных систем (МС), аппаратно-программных комплексов (АПК), являющихся разновидностями киберфизических систем (КФС), различного назначения, в том числе для экологического мониторинга [4].

Ключевое значение любых систем обеспечения экологической безопасности [5, с. 326] принадлежит экологическому мониторингу.

Прогресс в данном направлении может быть обусловлен обогащению имеющегося в наличии мониторингового арсенала новейшим аппаратурным оснащением, в том числе, для контроля концентрации металлов в водной среде и почве.

В отечественных публикациях по аналитическому приборостроению недостаточно отмечены особенности проектирования интеллектуальных мониторинговых систем. Это сдерживает дальнейшее развитие сенсорики - научного направления, рассматривающего конструирование, изготовление и применение датчиков [6].

Заметим также, что МС могут быть как автономными, так и входить в состав АПК и КФС.

Целью настоящей работы является развитие теории и методологии проектирования интеллектуальных мониторинговых систем.

Основная часть

Отличительными признаками оригинальной разработки являются применение радиоканала, использование нейронных сетей, предназначенной для дистанционного экологического мониторинга водных объектов и дистанционного контроля качества воды [7].

Блок обработки данных МС, состоящий из двух модулей, разработан в соавторстве с Алхасовым С.С. и Целых А.А. [8]. В первом модуле при помощи сети Кохонена разделяются вектор-столбцы разностей потенциалов на кластеры. Во втором модуле посредством радиальных базисных сетей выполняется количественная идентификация. Обучающий массив концен-

траций образуется с помощью генератора псевдослучайных чисел. Были созданы дополнительные скрипт-программы для анализа точности вычислений.

Основными функциональными элементами блока сбора и дистанционной передачи данных являются аналоговый мультиметр ADG732, цифровой мультиметр Agilent 34410A и набор ПО для ПЭВМ, радиопередатчики и радиоприемники.

Таким образом, представленные методологические подходы будут способствовать созданию мониторинговых систем нового поколения, отличающиеся от ныне существующих большей оперативностью и точностью оценки содержания металлов в водных средах и вытяжках из почв.

Актуальность исследования подтверждается тем обстоятельством, что впервые в области экологического мониторинга применяются современные методы машинного обучения [9].

Поставлена проблема [10] создания универсальной методики выбора генетического алгоритма для обучения нейронных сетей, используемых в интеллектуальных системах автоматизированного проектирования, мультисенсорных систем, аппаратно-программных комплексах и киберфизических систем различного назначения.

Выводы

Принципы проектирования, употребленные при модернизации МС первого поколения:

1. Впервые для этого класса МС предлагается использовать радиоканал, что позволит обеспечить возможность проведения оперативного дистанционного мониторинга водных объектов.

Информация патентоспособная и находится в резерве для реализации.

Предусмотрено импортозамещение комплектующих изделий.

2. Планируется внедрение нейронных сетей для повышения точности, достоверности и надежности результатов измерений. С этой целью поставлена проблема создания универсальной методики выбора генетического алгоритма для обучения нейронных сетей. Применение биоинспирированных алгоритмов, заимствованных у природы, повысит эффективность функционирования МС, так как согласно третьему закону экологии Барри Коммонера природа «знает» лучше.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Pyavchenko O. N.* Distributed Streaming Microcomputer Systems for Collecting and Processing Data from Dynamic Objects Sensors // World Applied Sciences Journal. 2014. Т. 29. № 8. С. 1004-1009.

2. *Пьявченко О.Н.* Высокопроизводительные распределенные потоковые системы сбора и обработки информации датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 11 (160). С. 189-197.

3. *Пьявченко О.Н.* Параллельно-последовательные схемы распределенных систем сбора и обработки информации датчиков // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 4 (153). С. 8-14.

4. *Спиридонов О.Б., Курейчик В.М., Милешко Л.П., Легкопудов Н.С., Штучный А.М.* Перспективы применения методов искусственного интеллекта для синтеза аппаратно-программных комплексов (аналитический обзор) // В сборнике: Перспективные системы и задачи управления. Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции и XIII молодёжной школы-семинара. Таганрог, 2022. С. 143-153.

5. *Хотунцев Ю.Л.* Экология и экологическая безопасность. - М.: Издательский центр "Академия", 2002. – 480 с.

6. *Милешко Л. П.* Мультисенсорные системы : учебное пособие / Л. П. Милешко, О. Б. Спиридонов, И. И. Черепяхин, И. П.Щербинин, Е. А. Шестова, С. С. Алхасов, А. С. Камышева ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023. — 273 с. — 3-е изд., перераб. и доп.

7. *Спиридонов О.Б., Милешко Л.П., Лобов П.Н.* Методологические подходы к созданию аппаратно-программных комплексов с применением радиоканалов и нейронных сетей для экологического мониторинга // В сборнике: Достижения науки и технологий-Инит-2021. сборник научных статей по материалам Всероссийской научной конференции. Красноярск, 2021. С. 88-92.

8. *Алхасов С.С., Милешко Л.П., Целых А.А.* Определение концентраций ионов тяжелых металлов посредством блока обработки данных мультисенсорной системы для мониторинга водных сред // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 4 (141). С. 161-168.

9. *Милешко Л.П., Алхасов С.С., Афанасьева П.В., Белый С.Б., Камышева А.С., Королёва А.И., Легкопудов Н.С., Милашич В.А.* Перспективы создания мультисенсорных систем для экологического мониторинга водных и почвенных сред // Экологические системы и приборы. 2020. N 3. С. 35-43.

10. *Курейчик В.М., Милешко Л.П., Спиридонов О.Б., Штучный А.М.* Проблема поиска перспективных алгоритмов обучения нейронных сетей // В сборнике: *Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте. Сборник материалов V Международной научно-практической конференции.* Редколлегия: Д.М. Дубинкин (отв. ред.) [и др.]. Кемерово, 2021. С. 100-102.

Спиридонов Олег Борисович, кандидат технических наук, доцент, директор Научного конструкторского бюро моделирующих и управляющих систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская, 81, 347928, телефон: 8-905-456-42-35, email: oleg.spiridonov@mail.ru

Милешко Леонид Петрович, доктор технических наук, доцент, академик Российской академии естествознания, инженер Научного конструкторского бюро моделирующих и управляющих систем Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, улица Петровская, 81, 347928, телефон: 8-951-530-78-78, email: mileshko-leon@yandex.ru

Лобов Павел Николаевич, аспирант Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, пер. Некрасовский, 44, 347922, телефон +7(900)2348245, email: lobov.pavel@inbox.ru

Spiridonov Oleg Borisovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Southern Federal University Scientific and Design Bureau of Modelling and Controlling Systems, Russia, Taganrog, Petrovskaya Street, 81, 347928, telephone: 8-905-456-42-35, email: oleg.spiridonov@mail.ru

Mileshko Leonid Petrovich, doctor technical sciences, associate professor, academician of the Russian Academy of Natural Sciences, engineer of the of the Southern Federal University Scientific and Design Bureau of Modelling and Controlling Systems, Russia, Taganrog, Petrovskaya street, 81, 347928, phone: 8-951-530-78-78, email: mileshko-leon@yandex.ru

Lobov Pavel Nikolaevich, graduate student of the Institute of Radio Engineering Systems and Control of the Southern Federal University, Russia, Taganrog, lane. Nekrasovsky, 44, 347922, phone +7(900)2348245, email: lobov.pavel@inbox.ru

УДК 621.316.075

Михеев Дмитрий Иванович, Михеева Наталья Ивановна,
Кадыркулова Кыял Кудайбердиевна

МОНИТОРИНГ РЕЖИМА РАБОТЫ СЕТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Основным видом производимой и потребляемой энергии в Кыргызстане является электрическая энергия. Процесс распределения и использования электроэнергии связан с существенными потерями. Одной из основных причин является асимметрия загрузки фаз. С целью снижения асимметрии и оптимизации режима работы сети потребителей предлагается компьютерное устройство для мониторинга тока нагрузки в линии электропередачи на основе датчика Холла и микроконтроллера Arduino UNO.

Электрическая энергия, распределительные сети, асимметрия загрузки фаз, мониторинг тока нагрузки, датчик Холла, ARDUINO UNO.

Mikheev Dmitry Ivanovich, Mikheeva Natalya Ivanovna,
Kadyrkulova Kyial Kudayberdievna

MONITORING OF OPERATING MODE OF THE NETWORK OF ELECTRICITY CONSUMERS

The main type of energy produced and consumed in Kyrgyzstan is electricity. The process of distribution and use of electricity is associated with significant losses. One of the main reasons is the asymmetry of phase loading. In order to reduce the asymmetry and optimize the operating mode of the consumer network, a computer device is proposed for monitoring the load current in the power line based on the Hall sensor and the Arduino UNO microcontroller.

Electrical energy, distribution networks, phase load asymmetry, load current monitoring, Hall sensor.

Процесс применения электрической энергии включает три этапа: производство, преобразование и распределения, потребление [1]. Его эффективность ограничивается величиной потерь электроэнергии, зависящих от многих причин.

Одним из важных факторов, ухудшающих эффективность распределения и использования электроэнергии, является асимметрия загрузки фаз (рис. 1) [2]. На задействованной фазе А напряжение падает ниже

нормы, тогда как недогруженная фаза С испытывает скачок напряжения, превышающий допустимые показатели.

Это может приводить к нарушению режимов работы аппаратуры и даже выходу ее из строя, ускоренному старению, дополнительным потерям энергии.

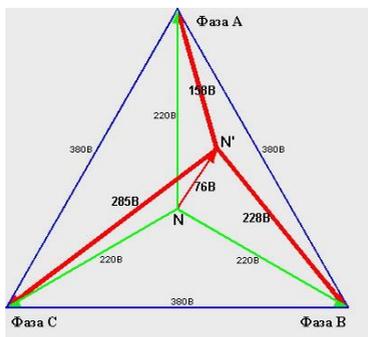


Рис. 1. Трехфазная сеть при равномерном и неравномерном распределении нагрузки по фазам

Существует несколько традиционных способов предотвращения асимметрии фаз. Прежде всего, возможно обеспечение равенства загруженности фаз путем грамотного учета мощности используемых приборов при проектировании сети электропитания. Однако это не гарантирует сохранения симметрии в процессе эксплуатации.

Применение специальных устройств – симметрирующих трансформаторов и стабилизаторов напряжения [2] связано с дополнительными затратами на их приобретение и эксплуатацию, а также существенно увеличивает дополнительный расход электроэнергии.

Современным способом ликвидации асимметрии загруженности фаз можно считать использование автоматизированной системы для мониторинга величины токопотребления и управления on-line переключением потребителей между фазами.

В данной работе рассмотрена одна из составляющих частей решения данной задачи, касающейся мониторинга величины тока, потребляемого нагрузкой. Предлагаемая система предназначена для апробации идеи создания "умного" устройства, обеспечивающего индикацию перегрузки в электрической сети. Принципиальная схема этого устройства, показанная

на рис. 2, включает 2 части: силовую и информационную, которые гальванически не связаны между собой.

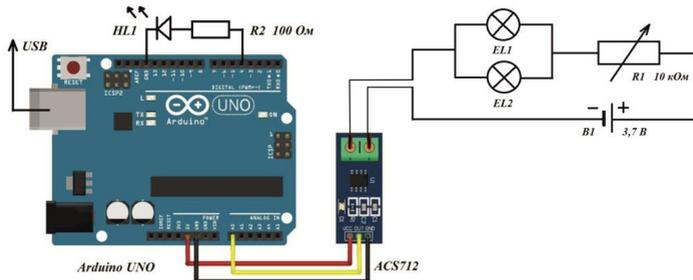


Рис. 2. Система мониторинга величины тока нагрузки

Силовая часть имитирует работу потребителя электрической энергии, источником которой является литий-ионный аккумулятор В1 типа 18650 с напряжением 3,7 вольта. В качестве потребителя с переменной нагрузкой использованы 2 лампы накаливания EL1 и EL2 ($U_{\text{ном}} = 3,5 \text{ В}$; $I_{\text{ном}} = 0,26 \text{ А}$), подключённые параллельно друг другу. Последовательно с лампами включен переменный резистор R1 с сопротивлением в диапазоне от 0 до 10 кОм для изменения тока нагрузки.

Информационная часть основана на плате микроконтроллера Arduino UNO [3], и служит для задания и индикации предельно допустимого тока потребителя электроэнергии. Также она позволяет видеть потребляемый ток в режиме реального времени. В качестве задающего устройства и индикатора использован персональный компьютер со средой разработки Arduino IDE. Монитор COM-порта, встроенный в эту среду, позволяет видеть мгновенные значения тока потребления. При величине тока выше допустимого значения загорается светодиод HL1.

В качестве датчика тока используется элемент ACS712 [4] с диапазоном измерения тока от -20 до 20 ампер и чувствительностью 100 мВ/А . Его работа основана на эффекте Холла, что обеспечивает высокую линейность функции преобразования и ее слабую зависимость от температуры (рис. 3).

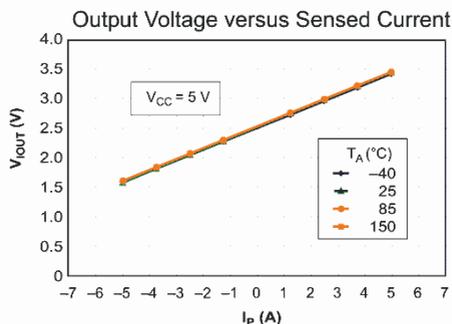


Рис.3. Зависимость напряжения на выходе датчика ACS712 от силы тока

Напряжение питания датчика составляет величину +5 В, ток потребления не превышает 11 мА. При измеряемом токе, равном нулю, напряжение на выходе ACS712 равно 2,5 В и отклоняется или ближе к нулю или ближе к напряжению питания — зависит от направления протекания тока (рис. 2).

Программа обработки результатов измерения для Arduino IDE составлена на С-подобном языке. В ней указывается значение силы измеряемого тока для срабатывания индикации превышения предельно допустимой величины (включения светодиода HL1).

В соответствии с программой осуществляются следующие действия.

Каждые 2 секунды датчик опрашивается, полученное значение преобразуется 10 разрядным АЦП микроконтроллера в значение от 0 до 1024 со средней точкой посередине: 512. Далее делается обратное преобразование для вычисления напряжения на входе Arduino, учитывая, что напряжение может варьироваться от 0 до 5 В со средней точкой в 2,5 В. Затем вычисляется мгновенное значение тока, учитывая, что чувствительность датчика составляет 100 мВ/А. Затем вычисляется разница между заданным порогом величины тока и мгновенным значением силы тока. Также при превышения силы тока выше установленного значения загорается сигнальный светодиод HL1.

Работа устройств иллюстрируется в окне монитора COM-порта, приведенного на рис. 4 для случая, когда величина тока превышает заданное значение.

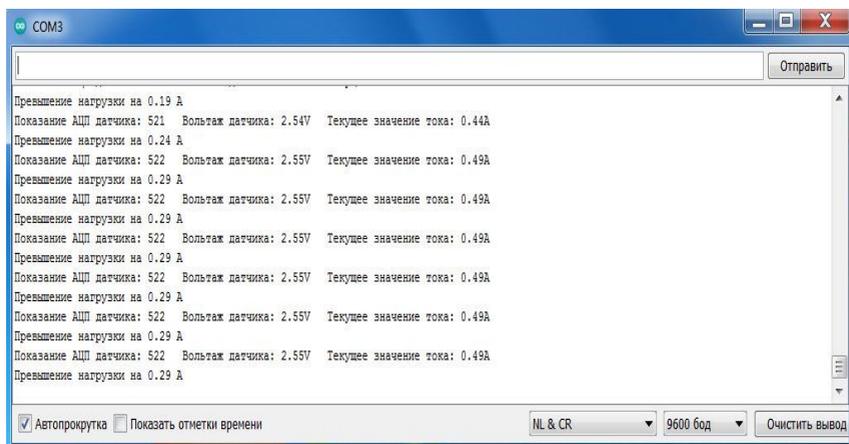


Рис. 4. Монитор СОМ-порта программы для случая превышения током потребления заданной величины

На рис. 5 показан внешний вид макета предлагаемой системы в состоянии, соответствующем событию, отображенному на рис. 4.

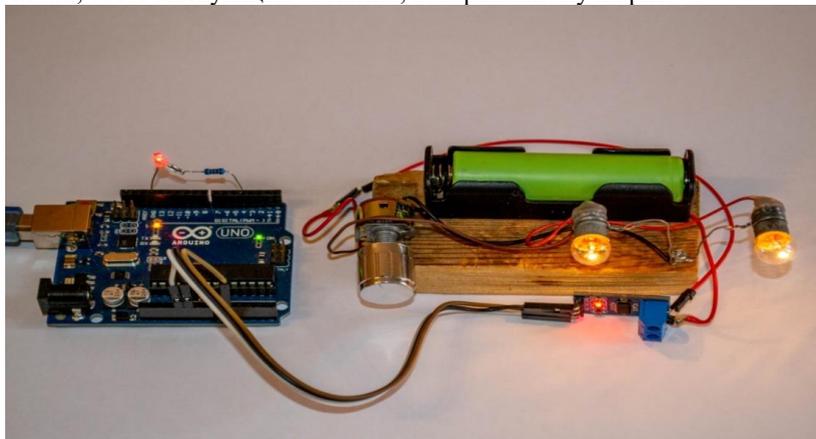


Рис. 5. Внешний вид макета предлагаемой системы

Предлагаемый способ мониторинга тока нагрузки в линии может быть использован для построения автоматизированных систем учета расхода электроэнергии, а также оптимизации режима работы сети потребителей электрической энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Щелоков Я.М.* Энергетическое обследование: справочное издание: В 2-х томах. Том 2. Электротехника. Екатеринбург: , 2011. 150 с.
2. <https://grand-electro.ru/elektrosnabzhenie/perekos-faz-v-trehfaznoy-seti-chem-oprasen-i-kogda-voznikaet.html#i-3>
3. <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
4. <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/datchik-toka-ac3712/>

Михеев Дмитрий Иванович, ст. преподаватель Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, Кыргызстан, город Бишкек, 720044, пр. Ч. Айтматова 66, телефон: +996550962176, email: dymmyh@gmail.com

Михеева Наталья Ивановна, к.т.н., доцент Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова, Кыргызстан, город Бишкек, 720044, пр. Ч. Айтматова 66, телефон: +996550603676, email: mihnata@mail.ru

Кадыркулова Кыял Кудайбердиевна, к.т.н., доцент Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова, Кыргызстан, город Бишкек, 720044, пр. Ч. Айтматова 66, телефон: +996700659057, email: kyialedi@gmail.com

Mikheev Dmitry Ivanovich, senior teacher Kyrgyz state technical university after named I. Razzakov, Kyrgyzstan, Bishkek city, 720044, 66 Ave. Ch. Aitmatov, phone: +996550962176, email: dymmyh@gmail.com

Mikheeva Natalya Ivanovna, Ph.D., Associate Professor Kyrgyz state technical university. I. Razzakov, Kyrgyzstan, Bishkek city, 720044, 66 Ave. Ch. Aitmatov, phone: +996550603676, email: mihnata@mail.ru

Kadyrkulova Kyial Kudayberdievna, Ph.D., Associate Professor Kyrgyz State technical university. I. Razzakov, Kyrgyzstan, Bishkek city, 720044, 66 Ave. Ch. Aitmatov, phone: +996770659057, email: kyialedi@gmail.com.

УДК 004.46

Анферова Маргарита Сергеевна, Белевцев Андрей Михайлович,
Дворецкий Виктор Васильевич

**МЕТОДИКА И СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

В условиях высокой динамики изменений в структуре макро- и микросреды производственного предприятия возникает необходимость повышения оперативности и качества комплексного решения задач стратегического анализа направлений научно-технического развития. Для повышения качества проведения мониторинга и стратегического анализа инновационных направлений развития предприятия необходимо использование поисково-аналитических систем. В данной статье представлена структура информационно-аналитической системы для мониторинга технологических направлений и выявления основных тенденций развития технологий.

Мониторинг, системы мониторинга, тенденции развития, анализ.

Anferova Margarita Sergeevna, Belevtsev Andrey Mikhailovich,
Dvoreckij Victor Vasilyevich

**METHODOLOGY AND STRUCTURAL AND FUNCTIONAL
ORGANIZATION OF THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
INFORMATION MONITORING SYSTEM FOR DETERMINING THE
DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF
HIGH-TECH ENTERPRISES**

In conditions of high dynamics of changes in the structure of the macro- and microenvironment of a manufacturing enterprise, there is a need to increase the efficiency and quality of a comprehensive solution to the tasks of strategic analysis of scientific and technical development directions. To improve the quality of monitoring and strategic analysis of innovative areas of enterprise development, it is necessary to use search and analytical systems. This article presents the structure of an information and analytical system for monitoring technological trends and identifying the main trends in technology development.

Monitoring, monitoring systems, development trends, analysis.

Введение

Смена технологического уклада глобальной экономики сопровождается резким увеличением объёмов исследований и разработок, появлением новых малых предприятий, различных кооперационных схем взаимодействия, и как следствие активным формированием новых технологических фронтов и появлением подрывных инноваций, резко меняющих структуру микросреды различных высокотехнологичных предприятий.

С другой стороны, различные потрясения в структуре макросреды, такие как эпидемии или переход к технологическому суверенитету, вносят новые, жизненно важные требования к технологической политике компаний.

В результате перед высокотехнологичным бизнесом предстают серьёзные вызовы в виде серьёзных изменений в структуре микро- и макросреды, обладающих очень высокой динамикой. Своевременное определение новых угроз и возможностей развития высокотехнологичных компаний является определяющим фактором успеха в средне- и долгосрочной перспективе.

Одной из центральных задач в этой проблематике является проведение мониторинга научно-технической информации, который обуславливает полноту исходных данных, необходимых и достаточных для получения качественных результатов аналитики.

Анализ различных источников [1] показал, что проблема мониторинга научно-технической информации не решена в полной мере. Сегодня основным инструментарием в различных аналитических докладах остаётся метод интервьюирования различных ведущих экспертов в отрасли (Gartner, SLOAN, Делфи и т.д.), а полученные оценки носят преимущественно качественный характер и основываются на опыте и ключевых компетенциях того или иного эксперта.

Кроме того, в центре внимания зачастую оказываются исключительно экономические факторы развития отрасли, в то время как технологические остаются не раскрытыми.

В этой связи проблема создания специализированных поисково-аналитических систем для повышения оперативности и качества комплексного решения задач стратегического анализа, прогнозирования и определения направлений научно-технического развития высокотехнологичного предприятия является чрезвычайно важной.

Основная часть

Активное развитие технологий Индустрии 4.0 привели к широкому применению информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и программных средств на их основе для решения широкого круга задач поиска, анализа, визуализации научно-технической информации, и как следствие повышения качества принимаемых решений и т.д.

Существующие информационные системы аналитики [2], построены на статистическом анализе данных, не предусматривают специфику отрасли, а технологический аспект и структура макросреды не рассматриваются, либо рассматриваются не системно.

Таким образом необходима разработка оригинальной методики проведения глобального мониторинга и программных средств её реализации в составе специализированной информационно-аналитической системы (ИАС).

С этой целью в первую очередь необходимо определить:

- 1) общие функциональные требования, предъявляемые к проведению мониторинга,
- 2) общую процедуру проведения мониторинга на основе этих требований,
- 3) определение типов информационных объектов и структуры баз данных,
- 4) общую архитектуру поисковых сервисов и оценка возможности их интеллектуализации.

1. Общие функциональные требования, предъявляемые к проведению мониторинга

На предыдущих этапах исследования были сформулированы основные функции, структура и общие подходы к реализации поисково-аналитической системы [3, 4].

Текущие изменения в структуре макросреды, вызванные, в первую очередь, переходом к технологическому суверенитету, а также активное развитие и доступность новых информационных технологий, обусловили необходимость уточнения существующих требований к ИАС, а также формулирования дополнительных требований.

На основе анализа функций и требований можно выделить две взаимосвязанные составляющие ИАС:

- Информационно-аналитическая система Мониторинга (ИАС-М)
- Информационно-аналитическая система Анализа (ИАС-А)

Можно выделить следующие приоритетные функции информационно-аналитической системы мониторинга (ИАС-М):

Ф1. Определение приоритетных направлений проведения мониторинга и масштаба мониторинга исходя из аналитической задачи

Ф2. Сбор первичных коллекций и подборка релевантных материалов в автоматизированном режиме.

Ф3. Мониторинг исследований и разработок различных уровней готовности технологий (начиная с TRL3)

Ф4. Выявление зарождающихся технологий и формирование технологических трендов

Ф5. Идентификация технологий, технических решений и компаний (в том числе новых) в выделенной совокупности документов на базе онтологий

Ф6. Идентификация участия компаний в проектах по импортозамещению, а также связи с факторами макросреды на базе онтологий.

Ф7. Структуризация полученной информации в виде информационных объектов.

Ф8. Автоматизированная проверка актуальности базы информационных ресурсов с целью реализации задачи непрерывного мониторинга.

Основные информационные объекты предлагаемого информационно-аналитического сервиса можно представить в виде последовательной функционально-логической схемы (рис. 1).

Рассмотрим предлагаемые этапы ИАС:

Этап 1. Определение области мониторинга.

На данном этапе происходит выбор предметной области. Определяется цель исследования.

Перед аналитиком может стоять задача определения технологических трендов в предметной области P_m на трёх разных уровнях охвата:

- 1) национальном,
- 2) отраслевом
- 3) и на уровне отдельно взятой компании.

Этап 2. Сбор первичной коллекции (поисковые роботы)

Формирование запроса и осуществление сбора сведений. отдельная задача, которая решается путем формирования списка ключевых слов, задающих область исследования.



Рис. 1. Общая структурно-функциональная схема информационно-аналитической системы

Конкретными инструментами поиска служат: одно или несколько ключевых словосочетаний, характеризующих рассматриваемую область, перечень ключевых слов, отобранных на основании экспертных мнений [5] или из важнейших документов либо комбинации этих подходов.

Существует альтернативная поисковая стратегия — формирование списка статей или патентов по какому-либо признаку [6].

Пусть задана предметная область P_m . В результате проведения глобального мониторинга, сформированы технологические тренды (технологические направления) $C_n^{P_m}$ по функциональному признаку и технологии c_i^n , входящие в состав каждого тренда [7]. Полученные данные образуют коллекции (научных публикаций, патентов и т. д.), которые в дальнейшем подлежат обработке с применением тех или иных количественных и качественных методов [8].

Этап 3. Разметка данных и кластеризация

Данный этап включает в себя последовательное выполнение следующих действий:

- классификация
- разметка
- определение взаимосвязей

Этап 4. Онтологии предметных областей (рубрикаторы)

Формирование онтологий является основополагающим этапом для осуществления разметки больших данных, а реализация эффективных механизмов её расширения определяет, насколько своевременно будут идентифицированы зарождающиеся тренды в исследуемой научно-технической области и новые компании в структуре микросреды.

4.1 Онтологии предметных областей (рубрикаторы)

c_i^n – технология

$C_{n_i}^{Pm}$ – технологический тренд

$O_i^n, i = \overline{1, N}$ – области применения технологий $\{c_i^n\}$

ΦH_i^n – функциональное назначение

K_i^n – предприятие

p_i^K – техническое решение предприятия К

4.2 Онтологии макросреды:

G – наличие господдержки (участие в нацпроектах и госпрограммах)

I – участие в проектах по импортозамещению

D – степень диверсификации (объем гражданской продукции)

А также необходимо установить принадлежность к экосистемам, ассоциациям, обеспечивающих дополнительный вес конкурентному профилю предприятия C_i :

A – ассоциации

E – экосистемы,

Результатом последовательного прохождения предложенных этапов можно считать следующие показатели:

- Выбор релевантных источников данных.
- Формирование базы данных.
- Формирование наиболее перспективные для рассматриваемой компании направлений (трендов)

Заключение

Задача проведения непрерывного глобального мониторинга научно-технологических направлений, технологических изменений и тенденций развития актуальна и требует создания ИАС.

В представленной работе определены основные функции ИАС, разработана функционально-логическая схема комплекса, предложены основные этапы для формирования первичной коллекции и дальнейшему анализу информации в ИАС. Данные ИАС позволяют повысить полноту и точность мониторинга технической информации в сетях общего и специального назначения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анферова М.С., Белевцев А.М.* Анализ направлений создания алгоритмов эффективного поиска информации в сетях общего и специального назначения // Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки и производства» / Рязань: РГРТУ, 2018

2. *Белевцев А.М., Садреев Ф.Г., Белевцев А.А., Балыбердин В.А.* Разработка интеллектуальных сервисов мониторинга технологических трендов в информационно-аналитических комплексах // Статья в российском журнале из перечня ВАК. Научное издание. Технологии т. 20 №3 2019г с. 24-29.

3. *Анферова М.С., Белевцев А.М.* Разработка алгоритмов интеллектуального сервиса поиска и мониторинга информации // Известия ЮФУ. Технические науки. №3 2021г с 6 - 17.

4. *Анферова М.С., Белевцев А.М.* Анализ требований и разработка алгоритмов интеллектуальных сервисов мониторинга // Известия ЮФУ. Технические науки. №3 2022г с 119 - 129.

5. *Белевцев А.А., Белевцев А.М., Балыбердин В.А.* Методика анализа и оценки приоритетов технологических трендов и технологий. Известия ЮФУ» № 6, 2022 г

6. *Анферова М. С., Белевцев А. М.* Анализ направлений развития технологий мониторинга в условиях большого объема неструктурированной информации // XXIV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием имени профессора О.Н. Пьявченко // "Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении" «КомТех-2020»

7. *Белевцев А.М., Балыбердин В.А., Белевцев А.А.* Методика оценки времени и стоимости реализации технологических трендов в условиях неопределенности и не полноты информации // НТ №5 2019

8. *Анферова М.С., Белевцев А.М., Белевцев А.А.* Методика анализа развития зарождающихся технологий и технологических фронтов //Известия ЮФУ. Технические науки. №4 2023г с 87 - 96.

Анферова Маргарита Сергеевна, старший преподаватель, «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, 125993, телефон: +7 905 522-07-49, e-mail: gludkina@yandex.ru

Белевцев Андрей Михайлович, доктор технических наук, профессор, «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, 125993, телефон: +7 903 769-17-88, e-mail: ambelevtsev@yandex.ru

Дворецкий Виктор Васильевич, старший преподаватель, «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, 125993, телефон: +7 926 520-14-18, e-mail: v.dworetsky@yandex.ru

Anferova Margarita Sergeevna, senior lecturer, Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4, 125993, phone: +7 905 522-07-49, e-mail: gludkina@yandex.ru.

Belevtsev Andrey Michailovitch, doctor of science, professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4, 125993, phone: +7 903 769-17-88, e-mail: ambelevtsev@yandex.ru .

Dvoretzkiy Victor Vasilyevich, senior lecturer, Moscow Aviation Institute (National Research University), Russia, Moscow, Volokolamskoe shosse, 4, 125993, phone: +7 926 520-14-18, e-mail: v.dworetsky@yandex.ru.

УДК.517.977

Клименко Юрий Алексеевич, Преображенский Андрей Петрович

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧАСТКОМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

В данной статье предлагается новый подход к разработке, проектированию и эксплуатации электрических сетей низкого напряжения энергетическими компаниями путем разработки алгоритма оптимизации распределения электрических нагрузок на определенном участке сетевого хозяйства при условии

обеспечения контроля параметров электрической энергии, влияющих на ее качественные показатели. Приведено описание задачи распределения электрических мощностей в сети равномерным образом. Представлена схема системы управления этими процессами. Рассмотрены различные математические методы достижения цели при разработке оптимизационной модели и алгоритма выравнивания нагрузок по фазам путем применения итерационной вариационной процедуры альтернативной оптимизации. В результате проведенного исследования рассмотрена возможность оптимизации энергетических систем с использованием метода роя частиц и приведен пример алгоритма оптимизации.

Распределительная сеть; алгоритм; оптимизация; электроэнергия; распределение; нагрузка; выравнивание; модель.

Klimenko Yuri Alekseevich, Preobrazhensky Andrei Petrovich
**DEVELOPMENT OF A SUBSYSTEM FOR CONTROL OF A
DISTRIBUTED ELECTRICAL NETWORK SECTION**

This article proposes a new approach to the development, design and operation of low-voltage electrical networks by energy companies by developing an algorithm for optimizing the distribution of electrical loads in a certain area of the network, subject to control of electrical energy parameters that affect its quality indicators. A description of the problem of distributing electrical power in a network in a uniform manner is given. A diagram of the control system for these processes is presented. Various mathematical methods for achieving the goal are considered when developing an optimization model and an algorithm for leveling loads across phases by applying an iterative variational alternative optimization procedure. As a result of the study, the possibility of optimizing energy systems using the particle swarm method was considered and an example of an optimization algorithm was given.

Distribution network; algorithm; optimization; electricity; distribution; load; alignment; model.

Введение

В больших электрических сетях разработчики стремятся к тому, чтобы обеспечивать соответствующий уровень качества электрической энергии, которая будет поставляться к различным потребителям. При этом интерес представляют сети с относительно небольшими значениями напряжений. При этом необходимо учитывать, что значения потерь электроэнер-

гии могут быть достаточно большими [1]. Это будет оказывать влияние на степень энергетической эффективности в разных компаниях.

Сетевая структура может быть модифицирована на основе различных научных подходов и разработок. Тогда между потребителями будет достигаться согласование, более простым образом будет осуществляться процесс модернизации технологического оборудования [2].

Целью данной работы является проведение разработки алгоритма для того, чтобы проводить оптимизацию распределения электрической энергии на заданных участках сетей, а также обеспечивать соответствующий контроль и управление качеством [3].

Описание задачи по распределению электрической энергии на участке распределенной электрической сети.

Мы будем рассматривать участок распределительной электрической сети. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы было обеспечено распределение равномерным образом нагрузок относительно трех фаз [4]. Сами нагрузки будут однофазными. Для этого необходимо создать соответствующий алгоритм. Он будет применяться в системе управления. За счет этого будут повышаться энергетические характеристики сетей. На рис. приведена схема анализируемого участка электрической сети (рис. 1). При этом выделены модули, на основе которых осуществляется процесс управления.

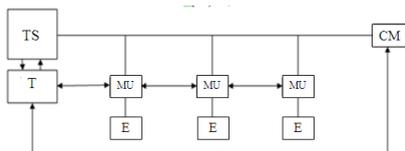


Рис. 1. Схема системы управления участком распределительной электрической сети для обеспечения равномерности нагрузок по фазам сети

Их обозначения следующие. TS - комплектная трансформаторная подстанция; Т – управляющий трансформаторный комплекс, СМ - модуль, требующийся для управления на удалении, при этом используются результаты множества измерений; МУ – модуль, предназначенный для управления процессами использования электроэнергии различных потребителей, при этом могут применяться процессы подстройки параметров; Е – электрооборудование, которое будет размещаться на базе потребителей.

TS обычно размещают на подстанциях. При этом она обычно применяется для осуществления контроля по характеристикам качества электрической энергии. Также данные собираются, обрабатываются и передаются в Т.

MU применяют для того, чтобы в анализируемой трехфазной сети было обеспечено равномерное распределение по однофазным нагрузкам.

Опишем основные принципы работы такого модуля [5]. Каждый из потребителей электрической энергии имеет соединение с MU.

Электропитание будет подаваться к входным контактам относительно фаз.

Характеристики качества электрической энергии внутри распределительных сетей определяется тем, какие будут соответствующие параметры. Они влияют на различные технологические процессы. При этом сами технологические процессы направлены на то, чтобы в электрических сетях были определены соответствующие значения по показателям качества [6]. При этом они будут формироваться исходя из соответствующих нормативных документов.

Чтобы достичь требуемых значений параметров могут в ходе управления применяться различные математические методы. Среди них можно указать:

- методы оптимизации;
- методы, в которых учитываются корреляционные зависимости между различными параметрами в сети;
- подходы, базирующиеся на адаптивном управлении.

Если рассматривать технологические процессы в распределенных электрических сетях, тогда в алгоритмах управления необходимо, чтобы учитывались неконтролируемые параметры [7].

В ходе построения модели технологического процесса необходимо описывать его отдельные операции.

При управлении в технологических процессах возникают возможности для того, чтобы по режимам работы технологического оборудования были сформированы алгоритмы по выбору и коррекции режимов их функционирования. [8]. Вследствие их использования качество электрической энергии в распределенных электрических сетях будет улучшено. Кроме того, будет происходить уменьшение значений потерь.

Разработка оптимизационной модели и алгоритма выравнивания нагрузок в участке электрической сети

В качестве основного подхода для обеспечения равномерности нагрузок в распределенных энергетических сетях был выбран оптимизационный подход. Была применена итерационная вариационная процедура многоальтернативной оптимизации [9].

Оптимизируемая функция F показывала степень неравномерности распределения нагрузок между фазами.

Для каждого k -го ($k = 1, 2, \dots$) шага осуществлялись процедуры по поиску вариаций подобной функции F относительно переменной x_j :

$$\Delta_j^k F = F(\tilde{x}^k / x_j = 0) - F(\tilde{x}^k / x_j = 1), \quad (1)$$

здесь $\tilde{x}^k = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_\pi, \dots, \tilde{x}_j)$ $\pi = \overline{1, J}$, $\pi \neq j$ - вектор, иллюстрирующий случайные реализации альтернативных переменных. Они в себя включали значения мощностей и напряжений, соответствующим различным потребителям. Для этих переменных мы рассматривали распределение

$$p_{x_\pi} = p(\tilde{x}_\pi = 1), \quad q_{x_\pi} = p(\tilde{x}_\pi = 0), \quad p_{x_\pi} + q_{x_\pi} = 1. \quad (2)$$

При этом вероятность, относящаяся к случайному событию будет обозначаться как $p(\cdot)$.

Оптимальное управление включает в себя несколько этапов.

Прежде всего, указанные вариации определялись на базе того, что проводился натурный эксперимент.

Результаты этих экспериментов были использованы для того, чтобы сформировать имитационную модель. Параметры модели были определены при помощи значений, которые относились к значениям альтернативных переменных x_j , $j = \overline{1, J}$.

Чтобы для альтернативной переменной x_π определить ее значение, которое является случайным, необходимо опираться на выражение

$$\tilde{x}_\pi = \begin{cases} 1, & \text{если } p_{x_\pi} > \xi \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (3)$$

В указанном выражении ξ - рассматривается в виде дискретной случайной величины. Распределение ее является равномерным и относится к интервалу [10]. После этого начинается итерационный процесс. Он содержит в себе несколько этапов. Первый этап, когда $k=1$, связан с тем, что будет задаваться значение $p_{x_\pi}^1$. Исследователи во многих случаях рассматривают случай $p_{x_\pi}^1 = 0.5$, при этом могут применяться на практике и другие значения. На следующих этапах относительно некоторой j -ой переменной будет рассматриваться совокупность таких реализаций. Полученное мно-

жество значений применяется для того, чтобы величина вероятности p_{x_j} была спрогнозирована с точки зрения своего роста или убывания. При этом вычисления относятся к k -му шагу итерации. Шаг \tilde{B}_j является случайным. Он находится в пределах границ 1 и 0. Само случайное распределение определяется такими параметрами:

$$p_{Bjn} = p(\tilde{B}_j = 1), \quad q_{Bjn} = p(\tilde{B}_j = 0) = 1 - p_{Bjn}. \quad (4)$$

Указанная реализация (3) применяется несколько раз. При этом в данной работе мы опираемся на созданную процедуру, связанную с управлением распределением (4). Это управление базировалось на том, что отслеживались значения вариации. Кроме того, учитывались параметры, относящиеся к распределению случайного шага \tilde{c}_j :

$$p_{cjn} = p(\tilde{c}_j = 1), \quad q_{cjn} = p(\tilde{c}_j = 0) = 1 - p_{cjn}. \quad (5)$$

Существуют неявные зависимости среди параметров. В этой связи необходимо, чтобы величина вероятности p_{Bjn} была увеличена. Это связано с тем, что в ходе подобных процедур величина p_{x_j} будет более существенным образом изменяться. Это относится к варианту, когда по реализациям вариаций $F_{\Delta_{1jF}}$ и $F_{\Delta_{2jF}}$ мы будем наблюдать совпадение в знаках. Величина вероятности p_{Bjn} будет уменьшена, если знаки будут разными. Тогда мы предлагаем подход, на основе которого определения p_{Bjn} в ходе $(k + 1)$ -й итерации:

$$p_{Bjn}^{k+1} = p_{Bjn}^k + p_{Bj}^{k+1} x(\Delta_{1j}^k F \Delta_{2j}^k F) - p_{Bj}^{k+1} x(-\Delta_{1j}^k F \Delta_{2j}^k F). \quad (6)$$

В указанном выражении величину p_{Bjn}^{k+1} мы будем определять, рассматривая то, какая будет сила связи между прогнозируемой величиной в (6).

Уменьшение значения вероятности p_{x_j} будет наблюдаться для случая, когда в (2) мы будем наблюдать отрицательные значения. Чтобы выражение (8) использовалось более эффективным способом, требуется, чтобы переменные x_j не просто перебирались. Важно, чтобы их выбор был управляемым. При этом применяется третья реализация по случайным величинам. Мы исходим из предположения того, что перебора осуществляется последовательным образом. При этом вероятности с точки зрения поиска переменных применяются одинаковым способом. Тогда в рамках первого шага:

$$p_j^1 = \frac{1}{J} \forall j = \overline{1, J}, \quad (7)$$

При этом, когда ведется подобный поиск, тогда необходимо стремиться к росту вероятности p_j . Это соответствует случаю, когда необходимо увеличить, когда в величине (2) при ее реализациях имеем одинаковые знаки. Процесс уменьшения будет при различных знаках.

Процедура изменения базируется на том, что привлекается соответствующий случайный шаг \tilde{d} . Для него будет некоторое распределение:

$$p_d = p(\tilde{d} = 1), \quad q_d = p(\tilde{d} = 0) = 1 - p_d. \quad (8)$$

В итоге мы получаем вариационную процедуру. Для того, чтобы ее реализовать, необходимо, чтобы шагов K по вычисления было довольно много.

Заключение

В работе рассмотрены возможности оптимизации сложных распределительных энергетических систем. Методика оптимизации включает в себя подход, основанный на методе роя частиц. Приведен пример использования предлагаемого алгоритма, для повышения равномерности нагрузок среди различных потребителей электрической энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клименко Ю.А., Преображенский А.П. Разработка устройства измерения параметров электрической сети / Ю.А. Клименко, А.П. Преображенский. // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. 2020. № 3. С. 152.
2. Тульский В.Н. Управление качеством электроэнергии в электрических сетях / В.Н. Тульский, И.И. Карташев, М.Г. Симуткин, Х.Б. Назиров, Н.М. Кузнецов // Горный журнал. – 2012. – №12. – С. 52-55.
3. Управление качеством электрической энергии / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2006. – 320 с.
4. Савина Н.В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях: моногр. / Н.В. Савина; отв. ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск: Изд-во Наука, 2008. – 228 с.
5. Клименко Ю.А. Адаптивная система управления для устранения несимметричности нагрузки фаз в трёхфазной сети 0,4 кВ./ Клименко Ю.А., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7. № 4 (27). С. 9-10.
6. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы /А. Г. Александров. – М.:Высшая школа, 2003.–287 с.

7. *Klimenko Y., Preobrazhenskiy A.P., Lvovich I.Y.* Optimization of technological process of monitoring of power quality in distribution networks 10/0,4 kV. / Klimenko Y., Preobrazhenskiy A.P., Lvovich I.Y. // В сборнике: Proceedings - 2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2019 2019. С. 422-427.

8. *Дед А.В.* Сравнение методов расчета коэффициентов учета несимметрии распределения нагрузок при оценке потерь мощности./ Дед А.В., Паршукова А.В.// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9 (часть 2) – С. 221-225.

9. *Клименко Ю.А.* Об оценке потерь электроэнергии в распределительных сетях 10/0,4 кВ / Клименко Ю.А., Преображенский А.П. // Актуальные вопросы энергетики. 2019. № 1, С. 6-15.

10. *Жежеленко И.В.* Оценка надёжности электрооборудования при пониженном качестве электроэнергии / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко, А.В. Горпич // Вести в электроэнергетике. – 2006. – №6. – С. 13-17.

Клименко Юрий Алексеевич, преподаватель, ФГКВБОУ ВО ВУНЦ "Военно-воздушная академия имени Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" 394064 г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54А, Телефон: +7 (910) 346-27-10, E-mail: klm71165@mail.ru.

Преображенский Андрей Петрович, профессор, доктор технических наук, доцент, "Воронежский институт высоких технологий"-АНОО ВО. 394043 г. Воронеж, ул. Ленина, д. 73А, Телефон:+7 (910) 243-87-53, E-mail: app@vvt.ru.

Klimenko Yuri Alekseevich, teacher, FGKVOU VO VUNTS "Air Force Academy named after N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin".

Preobrazhensky Andrei Petrovich, Professor, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, "Voronezh Institute of High Technologies" -ANOO VO.

УДК 004.3,004.4,004.052.32

Зинченко Юрий Евгеньевич, Зинченко Татьяна Анатольевна

АДАПТИВНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ТЕСТОВ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ РЭА И ЭВА

В докладе представляется новый подход адаптивного псевдослучайного тестирования цифровых устройств РЭА и ЭВА и реализация подхода в

системе AGAT, разработанной в лаборатории «FPGA-технологии проектирования и диагностика компьютерных систем» ДонНТУ. Описывается назначение, функциональные возможности, структура программного обеспечения и ключевые возможности системы. Приводятся результаты экспериментальных исследований системы.

Zinchenko Yuri Evgenievich, Zinchenko Tatyana Anatolyevna

ADAPTIVE GENERATION OF PSEUDO-RANDOM TESTS DIGITAL DEVICES REA AND EVA

The report presents a new approach to adaptive pseudo-random testing of digital devices REA and EVA and the implementation of the approach in the AGAT system, developed in the laboratory “FPGA technologies for design and diagnostics of computer systems” of Donetsk National Technical University. The purpose, functionality, structure of the software and key capabilities of the system are described. The results of experimental research of the system are presented.

Введение

Автоматическая генерация и синтез тестов цифровых устройств (ЦУ) компьютерных систем (КС), в том числе радиоэлектронной (РЭА) и электронно-вычислительной (ЭВА) аппаратуры, как известно, являются классическими задачами, которые возникли одновременно с рождением вычислительной техники. Однако, несмотря на это они до сих пор успешно не решены. Существующие на мировом рынке и стран СНГ системы автоматического построения тестов обеспечивают покрытие (обнаружение) в среднем всего лишь 50-60% неисправностей, что является далеко недостаточно. Поэтому компании, занимающиеся разработкой диагностического обеспечения, вынуждены строить или дорабатывать тесты вручную, что сопряжено с высочайшей трудоемкостью и требуют высокой квалификации инженеров-диагностов [1,2].

Таким образом разработка эффективных систем генерации тестов по-прежнему является актуальной задачей.

Одним из подходов построения тестов ЦУ, на котором базируется предлагаемая система, является вероятностное или случайное тестирование ЦУ, которое сводится к генерированию случайных или псевдослучайных тестов. Подход позволяет достаточно просто строить тесты и не нуждается в сложных алгоритмах анализа структуры или функций объекта ди-

агностики (ОД), свойственных детерминированному синтезу тестов. Однако существенным недостатком данного подхода является низкая полнота построенного теста (соотношение числа обнаруженных неисправностей к общему числу неисправностей ОД), обычно не превышающая 50%. При детерминированном синтезе тестов принципиально можно получить 100-процентную полноту, однако этот подход сопряжен с высочайшей трудоемкостью [3,4].

Поэтому для построения системы тестирования ЦУ в данной работе был разработан и внедрен усовершенствованный так называемый поход адаптивного псевдослучайного тестирования (АПСТ), обеспечивающий повышение полноты теста, сохраняя при этом главное достоинство вероятностного подхода – простоту реализации [5-8].

Сущность АПСТ [7] состоит в следующем.

В процессе генерации теста ОД вначале строятся тесты по принципу классической псевдослучайной генерации на основе линейных псевдослучайных тестов. Если при этом удастся достичь требуемой полноты теста, процесс генерации теста прекращается. В противном случае запускается псевдослучайная генерация на основе нелинейных псевдослучайных тестов. В случае же, когда и на нелинейных тестах требуемой полноты теста достичь не удастся, запускается АПСТ, состоящая из двух основных этапов:

- на первом этапе выполняется процесс «распознавания *ОД*», когда на основе моделирования ОД строится его *RTL-модель*, представляемая в виде так называемого *альтернативного графа* (АГ), состоящего их вершин (регистров -состояний) и «помеченных» логическими условиями переходов между состояниями;

- далее активизируется процесс «*блуждания по АГ*»: активизация состояний и переходов графа и поиск тестовых векторов для новых (ранее обнаруженных) неисправностей ОД, которые добавляются к ранее построенному тесту.

Наряду с АПСТ для повышения полноты теста может использоваться параллельное тестирование одного или группы ОД в локальной компьютерной сети (ЛКС), а также «многопоточная» реализация процессов генерации теста и моделирования неисправностей на основе использования многоядерных процессоров персональных компьютеров (ПК), образующих локальную сеть. «Многопоточность» позволяет задействовать многоядерные процессоры, как автономных ПК, так и ПК, работающих в ЛКС. Это

также обеспечивает «суммирование» АГ ОД, как для одного «тяжелого» объекта, так и для группы ОД, моделируемых в локальной сети, реализуя при этом в динамике процессы распознавания ОД и блуждания по АГ непрерывно.

Новый подход АПСТ реализован в САПР-Т «Генератор AGAT» (*Automatic Generator of Adaptive Test*), который предназначен для построения и анализа тестов ЦУ РЭА и ЭВА.

В качестве ОД Генератора AGAT выступают цифровые типовые элементы замены (ТЭЗ), построенные на интегральных микросхемах (ИМС) малой и средней степени интеграции. ТЭЗ представляются принципиальной схемой в EDIF-формате и PSpice-моделями компонент, построенных в САПР ORCAD [9]. В качестве моделей неисправностей при генерации и анализе тестов используется модель одиночной константной неисправности (КН) [1,2].

AGAT представляет собой интеграцию комплекса собственного программного обеспечения (ПО) и САПР ORCAD.

В процессе построения тестов и моделирования неисправностей генератор AGAT обеспечивает реализацию следующих **основных функций**:

- генерацию линейных, нелинейных и адаптивных псевдослучайных тестов, ручное задание тестов;
- анализ полноты теста, измерение активности внешних и внутренних контрольных точек (КТ) ОД на основе логического моделирования;
- анализ стабильности и критических состояний теста на основе PSpice-моделирования с реальными задержками ИМС;
- устранение «холостых» векторов и построение псевдослучайного теста, соизмеримого по длине с детерминированным тестом;
- автоматическое построение баз данных тестов и тестовых реакций для внешних и внутренних КТ ОД на основе Pspice-моделирования ОД на реальных задержках ИМС;
- отображение результатов генерации и анализа тестов непосредственно на принципиальной схеме ОД в графическом редакторе САПР ORCAD;
- поиск неисправностей ОД с точностью до съемной компоненты на основе сочетания алгоритмов обратного прохода и «галопирования»;
- гибкую форму задания ОД и ИМС, поддержку EDIF- и PSpice-форматов, широкую номенклатура ИМС с возможностью расширения библиотек компонент ОД;

- построение базы данных тестов и тестовых реакций ОД на основе моделирования с реальными задержками ИМС;
- отображение состояния схемы в OrCAD Capture – позволяет непосредственно в схемном редакторе OrCAD отображать обнаруженные и не обнаруженные тестом КН на логических элементах схемы ОД, а также информацию об активности входов и выходов элементов;
- сбор статистики о ходе генерации – создание файла статистики о ходе генерации в формате HTML, который включает информацию о состояниях схемы и переходах между ними, количестве обнаруженных неисправностей в каждом из состояний и прочее;
- структура программного обеспечения генератора AGAT, которая реализует описанные функции, приведена на рис. 1. На рис. 2 приведено главное окно генератора AGAT.

Экспериментальные исследования АПСТ в составе AGAT проводились для набора из 400 цифровых ТЭЗ специализированного радиотехнического комплекса (СРТК), которые по своей структуре и сложности аналогичны схемам набора ISCAS'89 [10], на которых диагносты обычно проводят испытания своих разработок. Исследования проводились как для традиционного, так и адаптивного ПСТ ТЭЗ по широкому спектру параметров (полноте, времени генерации теста и т.д.). Отдельные результаты испытаний для группы из 15 ТЭЗ СРТК представлены в таблице 2, где приведена оценка полноты традиционного и адаптивного ПСТ. Из таблицы видно, что практически во всех случаях адаптивный подход построения теста дает прибавку полноты теста в пределах 10-30% [11].

Экспериментальные исследования группы из 400 ТЭЗ СРТК показали следующие основные результаты:

- использование адаптивного ПСТ в локальной компьютерной сети на 10-ти традиционное ПСТ обеспечило диагностический стандарт полноты теста (80%) примерно для 40% ТЭЗ за приемлемое время (не более 30 мин/ТЭЗ);
- 2-х ядерных ПК позволило повысить число успешно протестированных ТЭЗ до 80%. При этом время тестирования не превышало 5 мин;
- для остальных «тяжелых» 20% ТЭЗ тесты, сгенерированные AGAT, достраивались до 80% полноты вручную.

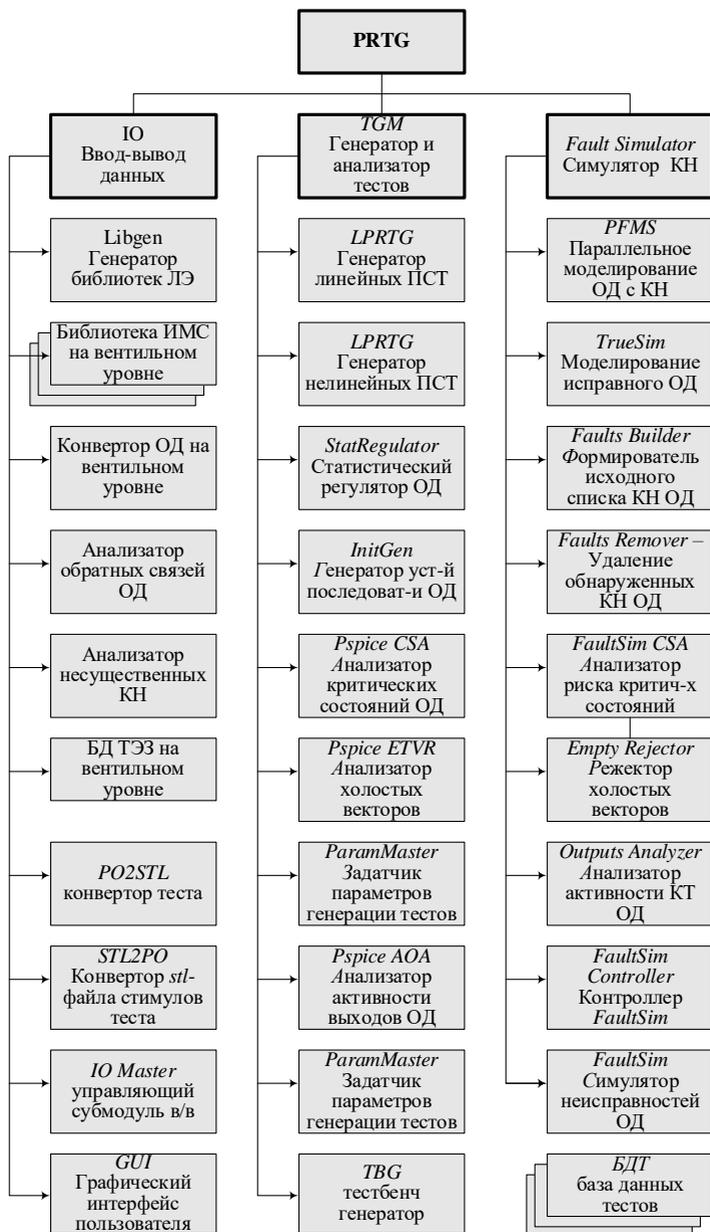


Рис. 1. Структура программного обеспечения генератора AGAT

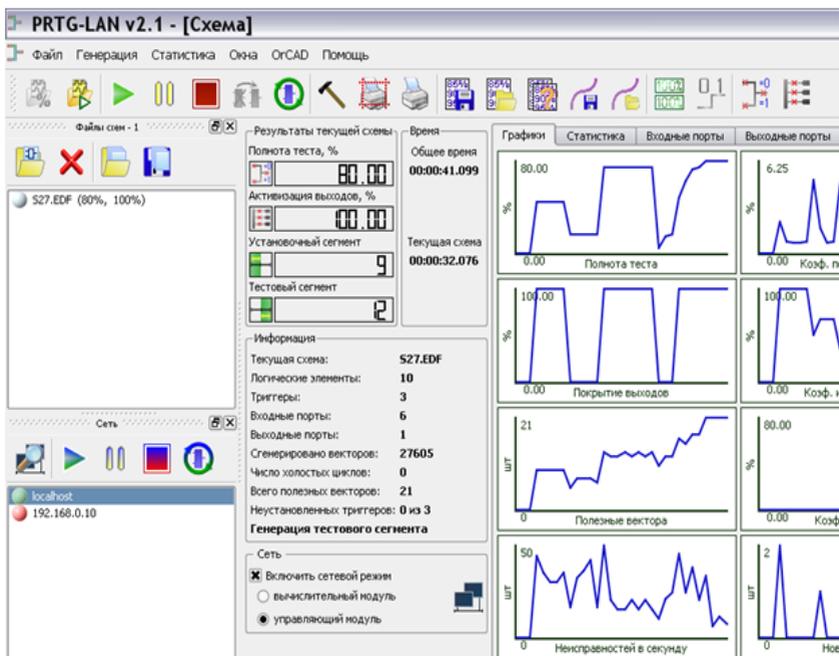


Рис. 2. Главное окно генератора AGAT

Таблица 2

Сравнительные результаты традиционного (Т) и адаптивного (А) ПСТ цифровых ТЭЗ СРТК

ТЭЗ	Триггеры/ ЛЭ	Полнота теста		Длина теста	
		А	Т	А	Т
1	25 / 355	59%	54%	50	45
2	72 / 503	73%	43%	162	143
3	9 / 307	91%	43%	55	17
4	16 / 796	82%	34%	83	74
5	17 / 206	95%	65%	105	95
6	13 / 267	71%	55%	50	45
7	48 / 238	75%	56%	69	49
8	14 / 63	70%	45%	28	12

9	27 / 190	79%	74%	55	48
10	40 / 386	57%	48%	33	31
11	19 / 142	81%	54%	95	45
12	36 / 255	78%	65%	81	84
13	40 / 504	79%	68%	82	61
14	32 / 650	83%	85%	68	65
15	14 / 601	53%	43%	26	13

Выводы

В статье предложена действующая система автоматической генерации тестов ЦУ РЭА и ЭВА, в которой заложен как традиционный подход, так и предложены инновационные подходы адаптивного ПСТ как на отдельном ПК, так и в локальной компьютерной сети для одного и для группы ТЭЗ. Эффективность AGAT подтверждается результатами экспериментальных исследований. Практическая значимость подхода заключается в сокращении вычислительных затрат на генерацию теста и повышении полноты теста на 10-30%. Таким образом, эксперимент подтвердил эффективность адаптивного подхода ПСТ в сочетании с использованием локальной компьютерной сети и многоядерных ПК для последовательных ЦУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Bushnell, M. L.* Essentials of electronic testing for digital, memory and mixed-signal VLSI circuits / M. L. Bushnell, V. D. Agrawal. – Kluwer academic publishers, 2001. – 690 p.
2. *Сперанский, Д. В.* Моделирование, тестирование и диагностика цифровых устройств: учебное пособие 3-е изд. / Д. В. Сперанский, Ю. А. Скобцов. — Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 529 с. // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: URL: <http://www.iprbookshop.ru/94854.html> (дата обращения: 30.12.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
3. *Rene, David.* Random testing of digital circuits. – CRC Press, 1998. – 496 p.
4. *Ярмолик В. Н.* Генерирование и применение псевдослучайных сигналов в системах испытаний и контроля / В. Н. Ярмолик, С. Н. Демиденко. - Минск, 1986.
5. FPGA-технологии проектирования и диагностика компьютерных систем /Зинченко Ю.Е., Калашников В.И., Хайдук С., Зинченко Т.А. и др. // Сбор-

ник научных трудов VI Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование». – Москва: МГУ, 2011. – Т. 1. 787 С. 422-429.

6. Современные проекты FPGA-лаборатории ДонНТУ /Ю.Е. Зинченко, В.И. Калашников, О.Н. Дяченко, Т.А. Зинченко //Иновационные перспективы Донбасса: сборник трудов Международной научно-практической конференции в рамках I-го Международного научного форума ДНР «Донбасс-2015», 20-22 мая 2015 / Донецк: ДонНТУ. – 2015. – С. 4.

7. *Зинченко Ю.Е.* Адаптивный подход к генерации псевдослучайных тестов цифровых устройств /Ю. Е. Зинченко, А. А. Корченко //Научные труды Донецкого национального технического университета. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – Вып. 9 (179). – С. 360-365.

8. *Зинченко Т. А., Зинченко Ю. Е., Дяченко О. Н..* Разработка архитектуры интегрированной система генерации псевдослучайных тестов цифровых устройств //Информатика и кибернетика, № 4 (26), 2021, Донецк: ДонНТУ.

9. *Болотовский Ю. И., Таназлы Г. И..* OrCAD. Моделирование. «Поваренная» книга. М.: СОЛОН-Пресс, 2005. - 200 с.

10. *Brgles F.* Combinational profiles of sequential benchmark circuits / F. Brgles, D. Bryan, K. Kozminski // International symposium of circuits and systems, ISCAS-89. – 1989.– p. 1929-1934.

11. Сайт лаборатории ДонНТУ «FPGA-технологии проектирования и диагностика компьютерных систем». – Донецк: ДонНТУ, [URL: http://fpga.domtu.ru](http://fpga.domtu.ru).

Зинченко Юрий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерной инженерии ФГОУВО «Донецкий национальный технический университет» руководитель лаборатории «FPGA-технологии проектирования и диагностика компьютерных систем», Россия (ДНР), город Донецк, улица Артема 58, 283001, телефон: +7(949) 486-55-46, email: zinchenko.yuri@gmail.com.

Зинченко Татьяна Анатольевна, старший преподаватель кафедры прикладной математики и искусственного интеллекта ФГОУВО «Донецкий национальный технический университет», Россия (ДНР), город Донецк, улица Артема 58, 283001, телефон: +7(949)334-91-53, email: zinchenko.tatyana@gmail.com.

Zinchenko Yuriy Evgenievich, candidate of technical sciences, associate professor of the computer engineering department of the "Donetsk National Technical University", leader of the laboratory "FPGA technologies for designing and diagnostics of comput-

er systems", Russia (DPR), Donetsk, Artema street 58, 347900, phone: +7(949) 486-55-46, email: zinchenko.yuri@gmail.com.

Zinchenko Tatyana Anatolyevna, senior lecturer of the Applied Mathematics and Artificial Intelligence Department of the "Donetsk National Technical University", Russia (DPR), Donetsk, Artema street 58, 347900, phone: +7(949)334-91-53, email: zinchenko.tatyana@gmail.com.

УДК 621.396

Аксенов Василий Валерьевич

**АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ DATAFUSION
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДАННЫХ
СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ С ПЛАТФОРМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО
ЗРЕНИЯ И СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ**

Статья посвящена анализу методов и элементов технологии DataFusion применительно к задаче повышения точности работы систем беспилотных летательных аппаратов. Было проведено исследование методов слияния данных, их сопоставления и анализа, а также методы оценки состояния системы. С учетом разнородности и объема данных в системе ориентации и стабилизации применение технологии DataFusion позволит оптимальным решить задачу повышения точности при оптимизации вычислительных затрат.

Комплексирование данных, DataFusion, слияние данных, оценка состояния решений.

Aksenov Vasilij Valerievich

**ANALYSIS OF ELEMENTS OF DATAFUSION TECHNOLOGY IN
APPLICATION TO THE PROBLEM OF COMPLEXING DATA OF A
GUIDANCE SYSTEM WITH A TECHNICAL VISION PLATFORM AND
AN ORIENTATION AND STABILIZATION SYSTEM**

The article is devoted to the analysis of methods and elements of DataFusion technology in relation to the task of increasing the accuracy of unmanned aerial vehicle systems. Research was carried out on methods for data fusion, comparison and analysis, as well as methods for assessing the state of the system. Taking into account the heterogeneity and volume of data in the orientation and stabilization system, the

use of DataFusion technology will allow us to optimally solve the problem of increasing accuracy while optimizing computational costs.

Data integration, DataFusion, data merging, decision status assessment.

Введение

В настоящий момент все более актуальной становится поиск нетрадиционных решений по оптимизации управления беспилотными летательными аппаратами. Важно понимать, что для решения некоторых задач автономность работы при условии обеспечения заданной точности является важной составляющей.

Перспективным видится комплексирование данных инерциальной системы (ИНС) и системы наведения (СН). ИНС позволяет определять траекторию движения ЛА, скорость и направление движения. Использование системы технического зрения для оптического наведения позволяет формировать сигналы и алгоритмы для стабилизации относительно точки интереса (ТИ). Такая система дает возможность определять ориентацию, распознавать объекты, управлять исполнительными механизмами для коррекции траектории и стабилизации линии визирования.

С учётом того, что объём данных очень значителен, и получается от датчиков или источников, имеющих зачастую различную физическую природу и, соответственно, разные системы измерения, видится целесообразным интеграцию ИНС с системой оптического наведения реализовать с помощью методов вычисления и фильтрации действительных векторов состояния. Для этого возможно использовать технологию DataFusion, которая обеспечивает слияние данных от датчиков различных систем (ИНС и СН), их сопоставление, оценку состояния систем и выдачу необходимых уточнённых управляющих сигналов в контуры ориентации и стабилизации ЛА. Таким образом в алгоритмах наведения и ориентации будут использованы несколько входных векторов [1].

Комплексирование данных

Комплексирование данных – сложная, многоуровневая задача. В зависимости от целей, конструктивных особенностей технической системы, специфики узлов и элементов, математической модели зависит технология объединения данных. От этого зависит и выбор конкретных решений на всех уровнях комплексирования, к которым относятся:

- методы слияния данных;
- методы сопоставления и анализа объединяемых данных;

- методы оценки состояния системы;
- алгоритмы формирования решений.

Методы слияния данных

Следует сказать, что как таковой единой принятой классификации методов слияния нет. Однако, можно выделить несколько классификаций в зависимости от основных критериев:

- в зависимости от соотношения между источниками входных данных, которые могут быть взаимодополняющие, избыточные или совместные (классификация Дюрранта-Уайта) [2];

- по типу и природе входных и выходных данных (DFD модель или классификация Дасарати) [3];

- в зависимости от уровня абстракции используемых данных можно выделить необработанные измерения, сигналы и функции или решения [4];

- по уровню данных, используемых для слияния (модель JDL). В данной модели пять уровней последовательной обработки данных (от уровня 0 до уровня 4) должны быть сгруппированы в две группы: низкоуровневый синтез и высокоуровневый синтез [5];

- по типу архитектуры различают централизованную, децентрализованную, распределенную и иерархические модели.

В настоящее время наиболее широко используются две модели. Это JDL модель и DFD модель. Одной из особенностей JDL является возможность использования неопределенностей из предыдущих или последующих результатов в процессе синтеза (петля обратной связи), что может влиять на качество результата. Предполагается, что данная модель может быть уточнена и/или расширена [6, 7]. Однако необходимо понимать два важных фактора:

- JDL – это первая модель объединения данных;

- корни JDL берут свое начало в военной сфере, и используемые термины ориентированы на риски, которые обычно возникают в этих сценариях.

Модель Дасарати отличается от модели JDL принятой терминологией и используемым подходом. Первый ориентирован на различия между входными и выходными результатами, независимо от используемого метода слияния.

Таким образом, модель Дасарати представляет собой более свободную модель для задач слияния используемых данных, тогда как модель

JDL больше представляет из себя методику для построения систем слияния данных.

К сказанному необходимо добавить, что согласно анализу, сделанному F. Castanedo [8], централизованный подход к структуре управления синтезом данных является оптимальным в случаях, когда нет затрат на передачу данных и есть достаточные вычислительные ресурсы. Отметим, что для целей, требующих автономность работы ЛА, такой вариант также допустим.

Методы сопоставления и анализа объединяемых данных

Выбор методов и методик сопоставления и анализа объединяемых данных зависит от типа задачи и установленных допущений для каждой методики. К группе методов слияния статистических данных относятся такие, как NN, PDA (был предложен Y. Bar-Shalom и E. Tse) [9], JPDA [10], МНТ (идея integer-программирования предложена С. L. Morefield, доработана D. B. Reid [11, 12]).

Алгоритм Nearest Neighbor (NN) достаточно простой метод выявления соотношений между признаками классифицируемого объекта с аналогичными признаками, которыми обладают ближайшие соседние объекты. Безусловным преимуществом метода является его простота. Недостатком является неустойчивость к ложным целям. Корректная работа может быть обеспечена только при низкой шумовой плотности среды.

Алгоритм Probabilistic Data Association (PDA) реализует байесовский принцип. Он является модифицированным фильтров выявления признаков отношения параметров объекта к группе. Отличие от предыдущего метода заключается в использовании синтезируемой группы признаков, формируемой по весовым значениям, для формирования текущей оценки параметров объекта. Данный алгоритм также может быть корректен только при анализе одиночных объектов.

Алгоритм Joint Probabilistic Data Association (JPDA) можно назвать расширенным PDA. Данный алгоритм допускает наличие других объектов, некоторые признаки которых могут пересекаться с интересующим. И вероятность принадлежности точки интереса по оцениваемым параметрам рассчитывается с учетом возможной принадлежности к другим группам объектов.

Алгоритм Multi Hypothesis Tracking (МНТ) является достаточно продуктивным методом выявления соотношений. Здесь реализуется байесовский принцип через построение дерева гипотез возможных соотношений и

вычисление апостериорных вероятностей соотношений по данным всей выборки измерений, от начала до текущей, с формированием рабочей группы гипотез путем исключения гипотез с апостериорной вероятностью ниже пороговой. Данный метод имеет весьма высокие показатели качества, в том числе фильтрации шумовых помех. Однако требует больших вычислительных затрат, поэтому на практике применяется не так часто.

Выделяя общие черты, характерные для методов данной группы, можно сказать, что они могут быть оптимальными только в определенных условиях [13]. Во-первых, допущение, что цели движутся независимо друг от друга и измерения обычно не проводятся около их предполагаемого положения, достаточно сомнительно само по себе. Во-вторых, статистические методы моделируют все события как вероятностные, следовательно, как правило, имеют несколько параметров и высокую вероятность некорректных измерений и формирования ошибок обнаружения. Этот фактор может являться критическим. Например, в случае алгоритма МНТ должны быть установлены конкретные параметры, которые в большинстве случаев сложны для определения, в то время как алгоритм достаточно чувствителен даже к небольшим отклонениям в измерениях этих параметров [14]. С другой стороны, статистические методы, которые одновременно обрабатывают несколько кадров, являются вычислительно затратными.

В отличие от централизованных, методы распределенного слияния данных создают некоторые проблемы в процессе слияния:

- пространственное и временное выравнивание информации;
- непоследовательные измерения;
- корреляция данных [15, 16].

Присущая распределенным системам избыточность может быть использована с помощью методов распределенной логики и кооперативных алгоритмов для улучшения оценок отдельных узлов [17].

Отдельно стоит остановиться на получившей сравнительно недавно развитие тенденции использования методов, основанных на идее геометрического (графического) представления низкоуровневого измерения в множествах.

Графические модели – это формализация представления и логических операций с вероятностями и автономностью. Графическая модель представляет собой условную декомпозицию синтезированной вероятности. Графическая модель может быть представлена в виде графа, содержащего случайные переменные в виде вершин или узлов, возможную зависимость

в виде ребер и выделенные дублирующие подструктуры с индексацией соответствующих переменных. Таким образом структурируется синтезированное распределение по случайным величинам, которое может быть разложено на произведение факторов, каждый из которых зависит только от подмножества переменных.

Существует два основных класса графических моделей:

- Байесовские сети или направленные графические модели;
- Марковские поля или неориентированные графические модели.

С помощью структуры, основанной на графических моделях, достаточно эффективно решается проблема распределенного соотношения данных в синхронизированных сенсорных сетях с перекрывающимися областями и наличием шумовой составляющей [18]. Однако существуют высокие требования к точности определения корреляции переменных при построении модели.

Методы оценки состояния системы

Методы оценки состояния систем направлены на определение состояния цели при движении (типичное положение) с учетом наблюдения или измерений. При этом известно, что не все данные, полученные для формирования оценки цели будут относиться непосредственно к ней. Определённый объем данных может быть шумовым. Фаза оценки состояния является общим этапом в алгоритмах слияния данных, поскольку наблюдение цели может производиться от различных датчиков или источников, а конечной целью является получение достаточной информации для оценивания.

Данная задача включает в себя определение значений векторного состояния (например, размера, положения, скорости цели и т.д.), которые максимально соответствуют наблюдаемым данным. С математической точки зрения имеется набор избыточных данных наблюдений, а задача заключается в том, чтобы найти набор параметров, который отражает наилучшее соответствие наблюдаемых данных реальным. Методы оценки состояния относятся к уровням 0 (предварительная обработка исходных данных) и 1 (уточнение объекта) по классификации, применяемой в модели JDL [5] и могут быть разделены на две широкие группы:

- линейная динамика и измерения: здесь задача оценивания имеет стандартное решение. В частности, когда уравнения состояния является за распределением Гауссовским. В таком случае оптимальное теоретическое решение может быть основано на классическом варианте фильтра Калмана.;

- нелинейная динамика: задача оценки состояния значительно усложняется, и, как такового аналитического решения такой задачи в общем виде с подтверждением положительными испытаниями алгоритма на практике нет.

Большинство методов оценки состояния основаны на теории управления и используют законы вероятности для вычисления векторного состояния из векторного измерения или потока таких измерений. Наиболее распространенными считаются:

- Методы максимальной вероятности Maximum likelihood (ML) и максимальной апостериорной вероятности Maximum posterior (MAP) [19], которые являются вероятностными и используются в задачах, когда переменная состояния x следует неизвестному распределению вероятностей.

Оба метода (ML и MAP) направлены на поиск наиболее вероятного значения для состояния x . Однако ML предполагает, что x является фиксированным, но неизвестным значением из пространства параметров, тогда как MAP рассматривает x как случайную величину с известной априорной вероятностной функцией плотности y . Методы являются эквивалентными, когда нет априорной информации о x , то есть, когда есть только наблюдения. Недостатками указанных методов являются требование к наличию аналитической или эмпирической модели сенсоров для априорного распределения и вычисления функции вероятности и систематическое некорректное определение дисперсии распределения.

- Фильтр Калмана [20] является рекурсивным фильтром, оценивающим вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений. Алгоритм фильтра – итеративный, на каждом шаге оценивает состояние системы по данным, принятым с датчиков, с учетом состояния системы на предыдущем шаге. Фильтр Калмана имеет разновидности и в зависимости от условий применения, может быть, применен как классический вариант (если распределение шума является Гауссовским) [21], либо нелинейный рекурсивный вариант [22]. В некоторых случаях, когда задачей для наблюдателя является оценка состояния системы по небольшому числу источников (как правило, два или три), либо в случаях равнодискретных и равнооточных измерений, возможно применение более простых фильтров. Это – комплементарный фильтр Альфа-Бетта или его расширенный на один уровень вариант – фильтр Альфа-Бетта-Гамма. По сути, это упрощенные варианты фильтра Калмана [23]. Критерием оптимальности указанных фильтров так же, как и в фильтре Калмана

служит минимум среднего квадрата ошибки. Недостатками группы методов являются: требование к наличию вероятностных характеристик входных/выходных сигналов динамической системы, шума и ошибок измерений, высокая вычислительная затратность и возможность расходимости процесса фильтрации.

- Фильтр частиц представляет собой рекурсивный алгоритм определения плотности вероятности из нескольких случайных выборок, называемых частицами, с использованием принципов Монте-Карло [24]. Данный метод считается более гибким, чем фильтры Калмана [13, 22], и может справляться с нелинейными задачами в динамических моделях при негауссовской плотности распределения шума. Однако у них есть и некоторые недостатки. Для получения допустимой дисперсии результате оценивания требуется большое количество частиц, и, как следствие фильтр будет априори вычислительно-затратным.

- Распределенный фильтр Калмана [25] осуществляет фильтрацию в условиях с синхронизированной работой сети сенсоров, с территориальной локализацией вычислительной обработки данных сенсоров или их групп. При этом управления потоками данных может быть как централизованной, так и децентрализованной.

- Фильтр распределенных частиц, который в последнее время привлекает все больше внимания [26-31]. Данный метод может быть использован для мониторинга динамической среды с нелинейными характеристиками и негауссовским распределением шума, описываемой марковской моделью множества состояний. Для обеспечения точности результата оценивания используется техника непоследовательных измерений, регенерации и определения плотности распределения в различные моменты измерений. Это формирует требования к объему хранилища данных для большого числа оцененных частиц и больших вычислительных затрат.

- Методы ковариационной согласованности (пересечения и объединения), предложенные J. K. Uhlmann [32] зарекомендовали себя, как достаточно отказоустойчивые. Они не включают в себя методы оценки. Однако, скорее, они являются методами синтеза оценок. Необходимо отметить, что данные методы могут быть использованы в комбинации с комплементарным фильтром или фильтром Калмана.

Методы слияния решений

Решение, как правило, принимается на основе понимания оцениваемой ситуации, которое применительно к задаче слияния данных формиру-

ется множеством источников. Методы слияния решений должны быть направлены на обеспечение формирования высокоуровневого вывода о ситуации в целом и отдельных событиях, происходящих в анализируемом поле. Указанные методы часто используют символическую информацию. И, учитывая множество ограничений в совокупности с высокой неопределенностью, процесс слияния требует проведения логических операций. Методы слияния решений подпадают под уровни: 2 (оценка ситуации), 3 (оценка воздействия) и 4 (уточнение процесса) по классификации, принятой в модели слияния данных JDL.

Выделим основные методы:

1. Байесовские модели слияния основываются на формализации объединения доказательств с учетом принципов теории вероятностей. Неопределенность представлена с использованием условных вероятностных терминов, которые описывают предположения и принимают значения в интервале $[0, 1]$, где ноль указывает на полное отсутствие соответствия правдоподобности, а единица - на абсолютное соответствие.

Основные недостатки данных моделей были сформулировали Hall и Llinas [33]:

- трудности определения априорных значений вероятностей;
- вычислительные сложности в ситуации, когда существует большое количество потенциальных гипотез и значительное число событий, зависящих от условий;
- основная гипотеза должна быть исключительной;
- трудности описания условных решений.

2. Метод Демпстера-Шейфера, основанный на математических теориях, введенных Демпстером [34] и Шейфером [35], который, по сути, обобщая байесовскую теорию, обеспечивает формализацию представления неполных знаний, актуализирующих доказательства и их комбинации для более четкого представления условностей [36]. Основной идеей является представление массива оцениваемых данных совокупностью гипотез, являющихся элементами системы с задаваемой вероятностью через функцию веса, итоговое сопоставление которых формирует выводы.

В отличие от байесовского метода, в методе Демпстера-Шейфера априорные значения вероятностей не требуются, так как они присваиваются в момент получения информации. Анализ использования методов Демпстера-Шейфера и Байеса в задаче комплексирования данных применительно к контекстно-зависимой среде с динамическими изменяющимися весо-

выми характеристиками, в зависимости от показаний сенсоров [37-40], показал возможность калибровки синтеза по ходу изменений данных, получаемых от датчиков.

3. Абдуктивные методы представляют собой совокупность логических операций, при котором гипотеза выбирается из предположения, что в случае, если она верна, она наиболее точно объясняет наблюдаемое событие. Таким образом данные методы представляют собой скорее шаблон логических операций, чем метод слияния данных и может использоваться в алгоритмах вывода с элементами нечеткой логики [41].

4. Семантические методы слияния решений в качестве входных используют семантические данные из разных источников и могут обеспечить более точные результаты, чем основывающиеся на отдельных источниках. В настоящее время наблюдается рост интерес к методикам, автоматически определяющим наличие семантических признаков, например в видеопотоке. [42].

Семантическое слияние информации – по сути своей, представляет собой схему фильтрации, обеспечивающую обмен необработанных данных с датчиков между узлами только при наличии в них результативной семантической составляющей. Семантическое слияние информации обычно охватывает два этапа: построение знаний и формирование вывода.

Методы этой группы довольно гибкие, но требуют определения и сохранения в базе возможных вариантов сценарного поведения, что заранее не всегда является осуществимым.

Также следует заметить, что задача комплексирования рассматривается с учетом требования обеспечений автономности работы систем БПЛА. Поэтому последние две группы методов неактуальны.

Выводы

В настоящей статье рассмотрены основные методы и элементы технологии DataFusion применительно к задаче повышения точности работы систем беспилотных летательных аппаратов, отвечающих за выделение и фиксацию динамического объекта (точки интереса), а также управление ориентацией и стабилизацией относительно ТИ платформы с системой технического зрения БПЛА. В частности, речь идет о повышении точности работы системы наведения с платформой технического зрения и инерциальной системы.

Необходимо заметить, что в настоящее время основная масса исследований в направлении комплексирования данных в беспилотных лета-

тельных аппаратах идет по пути коррекции управления траекторного движения через синтез данных датчиков инерциальной системы и спутниковых систем, имеющих априори точность более высокого порядка [43- 46]. Методы слияния при этом соответствуют диапазону от уровня 0 до уровня 2 по классификации, принятой в модели слияния данных JDL.

Для конкретизации задачи, с учетом выводов, сделанных в ходе проведенного анализа источников, целесообразно учесть факторы и требования, которые должны быть учтены.

1. Касаемо системы наведения с платформой технического зрения:

- с одной стороны, система наведения и автопилотный блок, включающий инерциальную систему являются конструктивными элементами единой системы (ЛА) с частично пересекающимся функционалом (речь идет о функциях навигации, ориентации и стабилизации объекта относительно ТИ для ИНС, и ориентации и стабилизации платформы технического зрения относительно той же ТИ – для СН);

- с другой стороны, указанные элементы являются отдельными системами, имеющие свои конструктивные и технологические особенности, и поэтому разрабатываются и изготавливаются также отдельно (зачастую, с учетом технологических особенностей и специализации, разными научно-производственными единицами).

2. Касаемо возможности использования данных внешних независимых источников, имеющих более высокий класс точности:

- В связи с требованиями задачи обеспечения автономности работы БПЛА, использование внешних сигналов не рассматривается.

3. Касаемо уровня данных, используемых для синтеза:

- И СН и ИНС являются системами, точность работы которых удовлетворяет требования технических заданий на них, включая параметры, характеризующие устойчивость выделения, фиксации и сопровождения ТИ, а также точность ориентации относительно ТИ. Кроме того, системы обладают необходимыми блоками, отвечающими за обеспечение фильтрации и преобразования первичных сигналов для последующей высокоуровневой обработки.

Таким образом, видится оптимальным решить задачу повышения точности при оптимизации вычислительных затрат.

Для этого предлагается:

- определить, что целесообразно использовать для комплексирования данные, соответствующие спектру от уровня 2 до уровня 4 по классификации, принятой в модели слияния данных JDL;
- выделить в качестве наиболее приемлемых Комплементарный фильтр Альфа-Бетта, фильтра Калмана, метод Демпстера-Шейфера;
- провести в дальнейшем сравнительную оценку эффективности комплексирования данных выбранными методами с подтверждением полунатурными испытаниями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аксенов В.В., Шадрина В.В.* Системы управления ориентацией и стабилизацией платформенных систем, оснащенные системой технического зрения. Изд-во «Комтех», 2022.;
2. *H. F. Durrant-Whyte*, Sensor models and multisensor integration, International Journal of Robotics Research, 1988;
3. *B. V. Dasarathy*, Sensor fusion potential exploitation-innovative architectures and illustrative applications, Proceedings of the IEEE, 1997;
4. *R. C. Luo, C.-C. Yih, and K. L. Su*, Multisensor fusion and integration: approaches, applications, and future research directions, IEEE Sensors Journal, 2002;
5. JDL, Data Fusion Lexicon. Technical Panel For C3, F.E. White, San Diego, Calif, USA, Code 4²⁰, 1991;
6. *J. Llinas, C. Bowman, G. Rogova, A. Steinberg, E. Waltz, and F. White*, Revisiting the JDL data fusion model II, Technical Report, DTIC Document, 2004;
7. *E. P. Blasch and S. Plano*, JDL level 5 fusion model user refinement issues and applications in group tracking, in Proceedings of the Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition XI, 2002;
8. *F. Castanedo*. A Review of Data Fusion Techniques. The Scientific World Journal, 2013;
9. *Y. Bar-Shalom and E. Tse*, Tracking in a cluttered environment with probabilistic data association, Automatica, 1975;
10. *T. E. Fortmann, Y. Bar-Shalom, and M. Scheffe*, Multi-target tracking using joint probabilistic data association, in Proceedings of the 19th IEEE Conference on Decision and Control including the Symposium on Adaptive Processes, 1980;
11. *C. L. Morefield*, Application of 0-1 integer programming to multitarget tracking problems, IEEE Transactions on Automatic Control, 1977;
12. *D. B. Reid*, An algorithm for tracking multiple targets, IEEE Transactions on Automatic Control, 1979;

13. *J. Cox*, A review of statistical data association techniques for motion correspondence, *International Journal of Computer Vision*, 1993;
14. *C. J. Veenman, M. J. T. Reinders, and E. Backer*, Resolving motion correspondence for densely moving points, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001;
15. *F. Castanedo, M. A. Patricio, J. Garcia, and J. M. Molina*, Bottom-up/top-down coordination in a multiagent visual sensor network, in *Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS '07)*, 2007;
16. *F. Castanedo, J. Garcia, M. A. Patricio, and J. M. Molina*, Analysis of distributed fusion alternative sin coordinated vision agents, in *Proceedings of the 11th International Conference on Information Fusion (FUSION '08)*, 2008;
17. *F. Castanedo, J. Garcia, M. A. Patricio, and J. M. Molina*, Data fusion to improve trajectory tracking in a cooperative surveillance multi-agent architecture, *Information Fusion*, 2010;
18. *Koller and N. Friedman*, *Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques*, MIT press, 2009;
19. *C. Brown, H. Durrant-Whyte, J. Leonard, B. Rao, and B. Steer*, Distributed data fusion using Kalman filtering: a robotics application, in *Data, Fusion in Robotics and Machine Intelligence*, M. A. Abidi and R. C. Gonzalez, 1992;
20. *R.E. Kalman*, A new approach to linear filtering and prediction problems, *Journal of Basic Engineering*, 1960;
21. *R. C. Luo and M. G. Kay*, Data fusion and sensor integration: state-of-the-art 1990s, in *Data Fusion in Robotics and Machine Intelligence*, 1992;
22. *Welch and G. Bishop*, *An Introduction to the Kalman Filter*, ACM SIC-CRAPH, 2001 Course Notes, 2001;
23. *Зинова В.В.* Синтез и исследование алгоритмов фильтрации, применяемых на этапе вторичной обработки радиолокационной информации, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018;
24. *D. Crisan and A. Doucet*, A survey of convergence results on particle filtering methods for practitioners, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2002;
25. *M. E. Liggins II, C.-Y. Chong, I. Kadar et al.*, Distributed fusion architectures and algorithms for target tracking, *Proceedings of the IEEE*, 1997;
26. *S. Bashi, V. P. Jilkov, X. R. Li, and H. Chen*, Distributed implementations of particle filters, in *Proceedings of the 6th International Conference of Information Fusion*, 2003;

27. *M. Coates*, Distributed particle filters for sensor networks, in Proceedings of the 3rd International symposium on Information Processing in Sensor Networks (ACM'04), 2004;
28. *D. Gu*, Distributed particle filter for target tracking, in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '07), 2007;
29. *Y. Bar-Shalom*, Update without-of-sequence measurement sin tracking: exact solution, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2002;
30. *M. Orton and A. Marrs*, A Bayesian approach to multi-target tracking and data fusion with Out-of-Sequence Measurements, IEE Colloquium, 2001;
31. *M. L. Hernandez, A. D. Marrs, S. Maskell, and M. R. Orton*, Tracking and fusion for wireless sensor networks, in Proceedings of the 5th International Conference on Information Fusion, 2002;
32. *J. K. Uhlmann*, Covariance consistency methods for fault-tolerant distributed data fusion, Information Fusion, 2003;
33. *D. L. Hall and J. Llinas*, Handbook of Multisensor Data Fusion, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 2001;
34. *P. Dempster*, A Generalization of Bayesian Inference, Journal of the Royal Statistical Society B, 1968;
35. *Shafer*, Mathematical Theory of Evidence, Princeton University Press, Princeton, NJ, USA, 1976;
36. *G. M. Provan*, The validity of Dempster-Shafer belief functions, International Journal of Approximate Reasoning, 1992;
37. *D. M. Buede*, Shafer-Dempster and Bayesian reasoning: a response to 'Shafer-Dempster reasoning with applications to multisensor target identification systems', IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1988;
38. *Y. Cheng and R. L. Kashyap*, Comparison of Bayesian and Dempster's rules in evidence combination, in Maximum-Entropy and Bayesian Methods in Science and Engineering, 1988;
39. *B. R. Cobb and P. P. Shenoy*, A comparison of Bayesian and belief function reasoning, Information Systems Frontiers, 2003;
40. *H. Wu, M. Siegel, R. Stiefelagen, and J. Yang*, Sensor fusion using Dempster-Shafer theory, in Proceedings of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (TMTc'02), 2002;
41. *J. R. Aguero and A. Vargas*, Inference of operative configuration of distribution networks using fuzzy logic techniques. Part II: extended real-time model, IEEE Transactions on Power Systems, 2005;

42. *W. M. Smeulders, M. Worring, S. Santini, A. Gupta, and R. Jain*, Content-based image retrieval at the end of the early years, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000;

43. *Королев Л.Ю.* Алгоритмы фильтрации параметров группы беспилотных летательных аппаратов, ФГБОУВО НИМГУ им. Н.П. Огарева, Саранск, 2021;

44. *Паксютин П.А.* Исследование алгоритмов комплексирования навигационной информации в системе управления космическим аппаратом: ЮУрГУ (НИУ), ВШ ЭКН; 2018;

45. *Грибовский А.В., Исмаилов Р.Р., Козадаев К.В., Красовский С.П., Прохорович М.А., Чернявский А.Ф.* Комплексирование данных навигационных систем на основе нелинейного фильтра Калмана, Информатика, 2021;

46. *Багрова М.С.* Алгоритмы комплексирования инерциального блока низкого класса точности и системы спутниковой навигации, МГТУ им. Н.Э Баумана, Москва, 2001г.

Аксенов Василий Валерьевич, аспирант кафедры систем автоматического управления Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Россия, город Таганрог, переулок Некрасовский 44, 347922, телефон: +7(8634)37-16-89, email: vaksenov@sfedu.ru.

Aksenov Vasily Valerievich, graduate student Department of Automatic Control Systems Institute of Radio Engineering Systems and Control Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky lane 44, 347922, phone: +7(8634)37-16-89, email: vaksenov@sfedu.ru.

УДК 004.045:[332.872.42+658.262]

Тимошкевич Иван Валерьевич

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ФОРМИРОВАНИЮ И ВЕДЕНИЮ ПАСПОРТОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

В статье представлены практические предпосылки к формированию и ведению паспортов энергоэффективности многоквартирных зданий. Основное содержание энергетического паспорта здания. Процедурные аспекты проведения энергетического аудита с целью получения энергетического паспорта здания. А также экономическую эффективность от использования и внедрения энергоэффективных паспортов в многоквартирные дома. Важность создания

паспортов энергоэффективности для многоквартирных домов, является значимой технологией, которая представляет собой значительный потенциал для энергосбережения, повышения качества и доступности жилищно-коммунальных услуг.

Энергоэффективность, паспортизация, энергоаудит, энергопотребление, качество проживания.

Timoshkevich Ivan Valerievich

PRACTICAL PREREQUISITES FOR THE FORMATION AND MAINTENANCE OF ENERGY EFFICIENCY PASSPORTS FOR RESIDENTIAL BUILDINGS

The article presents practical prerequisites for the formation and maintenance of energy efficiency passports of apartment buildings. The main content of the building energy passport. Procedural aspects of conducting an energy audit to obtain an energy passport of the building. As well as economic efficiency from the use and implementation of energy efficiency passports in apartment buildings. The importance of creating energy efficiency passports for apartment buildings is a significant technology that represents significant potential for energy saving, improving the quality and accessibility of housing and communal services.

Energy efficiency, certification, energy audit, energy consumption, quality of living.

Введение

Создание и внедрение новых энергоэффективных технологий даёт возможность в процессе эксплуатации старой застройки минимизировать потребление тепловой энергии. В данной связи типовые жилые многоквартирные дома (МКД) должны представлять собой комплексную систему по преобразованию минимального количества коммунальных ресурсов с минимальными эксплуатационными затратами в нормативные параметры комфорта, а в пределе – в максимальные [1].

В Республике Беларусь около 80 % многоквартирных жилых зданий построены до 1996 года. Они имеют показатель удельного потребления тепловой энергии свыше $160 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$ в год, в то время как современные дома обладают показателем менее $100 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$ в год.

Поэтому жилой фонд старой постройки представляет собой значительный потенциал для энергосбережения, повышения качества и доступ-

ности жилищно-коммунальных услуг. Это может быть достигнуто благодаря использованию систем: подомовой учет, электронная паспортизация зданий, паспорт энергетической эффективности, использованию датчиков интернета вещей (IoT) и программные продукты информационного моделирования (BIM).

Переход с классической документации на электронную паспортизацию и паспорта энергоэффективности является одним из ключевых моментов в рамках повышения энергетической и экономической эффективности эксплуатации МКД. А в мировой практике комплексно разрабатываются технологии, конструкционные материалы и новые нормативные документы, позволяющие повысить энергоэффективность зданий старой застройки с присвоением им более высокого класса энергосбережения [2].

Предпосылками к разработке мероприятий по формированию и ведению представляется возможным считать результаты предварительно проведённого анализа:

1. Тепловой баланс отдельных типов зданий существующего жилого фонда многоэтажной застройки [3];

2. Основные направления и возможные практических мер по снижению тепловых потерь и повышению энергоэффективности типовых МКД [1];

3. Концептуальные направления повышения энергоэффективности зданий существующего жилищного фонда до уровня «дом нулевой энергии» [4];

4. Факторы повышения энергоэффективности по степени их влияния на тепловой баланс жилых зданий, а также стадий последовательного достижения зданием энергетического баланса, близкого к нулевому значению [4].

Основная часть

Важной предпосылкой перехода к формированию и ведению энергетического паспорта является автоматизация съёма и обработки показаний приборного учёта потребления воды, тепла и электроэнергии. Паспорт энергетической эффективности или энергопаспорт является официальным документом, который используется для оценки и документирования энергетической эффективности здания (рис. 1).



Рис. 1. Классы энергоэффективности здания

Энергопаспорт здания содержит информацию о теплотехнических характеристиках здания, энергопотреблении, энергоснабжении и другие данные, позволяющие определить эффективность использования энергии в данном здании. Создание электронных энергопаспортов позволит обеспечить в совокупности за весь срок службы здания экономическую выгоду в капитальных ремонтах, техническом обслуживании, проведении мероприятий по повышению энергоэффективности, а также сократить трудозатраты на поиск сведений об энергетической эффективности здания для предварительной оценки объёма работ по ремонту (реконструкции) и составления технического задания на выполнение работ.

Основное содержание энергетического паспорта здания

Энергетический паспорт здания подтверждает, что данное здание соответствует установленным требованиям по энергоэффективности и может быть введено в эксплуатацию. Важно отметить следующие особенности оформления и получения энергетического паспорта здания:

1. Однократное оформление для каждого конкретного здания при его строительстве или реконструкции; после подтверждения соответствия здания стандартам энергоэффективности переоформления паспорта не требуется до истечения его срока действия.

2. Подтверждение соответствия здания установленным требованиям по энергоэффективности, что включает в себя параметры теплопотерь, энергопотребления и другие характеристики, влияющих на энергосбережение.

3. Обязательность его получения для ввода здания в эксплуатацию с учётом эффективного энергопотребления.

Чтобы оформить энергетический паспорт здания, необходимо обратиться в аккредитованный орган по сертификации, обладающий необходимыми компетенциями в области проведения измерений и анализа дан-

ных о здании и определении на их основе его энергетической эффективности.

Процедурные аспекты проведения энергетического аудита с целью получения энергетического паспорта здания

Для получения паспорта энергосбережения и энергетической эффективности организации или здания следует выполнить ряд действий:

1. Обратиться в компанию-энергоаудитор.
2. Выбрать вид энергоаудита:
 - инструментальный энергоаудит (включает в себя детальное обследование зданий и сооружений, проведение инструментальных замеров и анализ энергопотребления; может занять от нескольких дней до нескольких недель, однако предоставит более подробную информацию об энергопотреблении и потенциале экономии энергии);
 - экспресс-энергоаудит (более прост и дешевле, однако не включает детальных инструментальных замеров; позволяет быстро определить основные проблемные зоны и предложить общие рекомендации по экономленной энергии).
3. Провести аудит – после выбора компании и вида аудита организация или здание подвергаются соответствующему обследованию; энергоаудиторы проводят необходимые замеры, собирают данные о потреблении энергоресурсов и анализируют системы и оборудование.
4. Проанализировать результат энергоаудита и разработать паспорта – на основе результатов энергоаудита компания-энергоаудитор разрабатывает паспорт энергосбережения и энергетической эффективности, включая данные о потреблении, рекомендации по улучшению энергетической эффективности и другую необходимую информацию.
5. Получить паспорт – паспорт энергосбережения и энергетической эффективности выдается организации или владельцу здания и будет содержать рекомендации по снижению энергопотребления и улучшению эффективности использования энергоресурсов.
6. Внедрить мероприятия – на основе рекомендаций, представленных в паспорте, становится возможным разработать план внедрения энергосберегающих мероприятий и начать их реализацию.

Для оформления энергетического паспорта здания помимо проведения энергоаудита необходимо собрать и подготовить соответствующую проектную документацию. В процессе подготовки паспорта здания следует учесть следующие разделы:

1. Отопление и вентиляция – сведения о системах отопления и вентиляции здания, включая их технические характеристики, эффективность и энергопотребление.

2. Энергоэффективность – сведения о мерах и технологиях, применяемых для повышения энергоэффективности здания; включает в себя описание изоляции, утепления, использования энергосберегающих материалов и технологий.

3. Система электроснабжения – сведения о системе электроснабжения здания и её эффективности, о потреблении электроэнергии.

4. Система водоснабжения и водоотведения – сведения о системах водоснабжения и водоотведения здания и их эффективности, о потреблении воды.

5. Архитектурная часть – описание архитектурных особенностей здания, которые могут влиять на его энергоэффективность: окна, двери, изоляция и другие архитектурные элементы.

После оформления энергоаудитор обязан зарегистрировать энергопаспорт здания в уполномоченной организации. Срок действия энергопаспорта организации, предприятия или учреждения составляет 5 лет. После этого периода необходимо провести повторный энергоаудит и обновить паспорт с учетом изменений в энергопотреблении и уровне энергоэффективности.

Разработка теплоэнергетического паспорта здания регламентирована СП 2.04.02-2020 «Тепловая защита жилых и общественных зданий. Энергетические показатели» [6], введённым взамен ТКП 45-2.04-196-2010 «Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики. Правила определения» [7], а также СН 2.04.02-2020 «Здания и сооружения. Энергетическая эффективность» [8]. Требования к энергетическому паспорту в Республике Беларусь установлены СТБ 1774-2010 «Энергосбережение. Энергетический паспорт потребителя топливно-энергетических ресурсов. Общие требования» [9].

Содержание работ по энергоаудиту здания представлено в табл. 1.

Таблица 1

Содержание работ по энергоаудиту здания

Наименование проводимых работ	Исходные данные и действия энергоаудиторов	Результаты работы
Сбор общих данных об объекте	Проектная документация, паспорта БРТИ, договора энергоснабжения, нормативная документация	Материал для анализа и заполнения форм паспорта
Сбор данных об энергопотреблении и состоянии приборного учета	ЕРЦ, данные по энергопотреблению за базовый год по приборам учета	Материал для заполнения форм паспорта
Сбор данных о составе оборудования, уст. мощностям, удельному расходу энерго. рес. и др. Визуальная оценка оборудования и состояния ограждающих конструкций	Данные ЖЭС (ТС), паспорт здания, данные инвентаризации	Материал для заполнения форм паспорта
Оценка состояния и эффективности работы систем тепло- и электропотребления, потенциала энергосбережения	Данные ЖЭС (ТС), результаты инструментальных измерений	Разработка энерго. сбер. мероприятий и заполнения форм паспорта
Разработка энергосберегающих мероприятий	Проводится энергоаудиторами по результатам обследования	Материал для энерго. сбер. мероприятий
Заполнение энергетического паспорта	Проводится энергоаудиторами по результатам обследования	Заполненные формы паспорта жилого дома
Оформление отчета о проведении энергетического обследования	Проводится энергоаудиторами по результатам обследования	Отчет по результатам обследования

Общая схема проведения энергоаудита представлена на рис. 2.

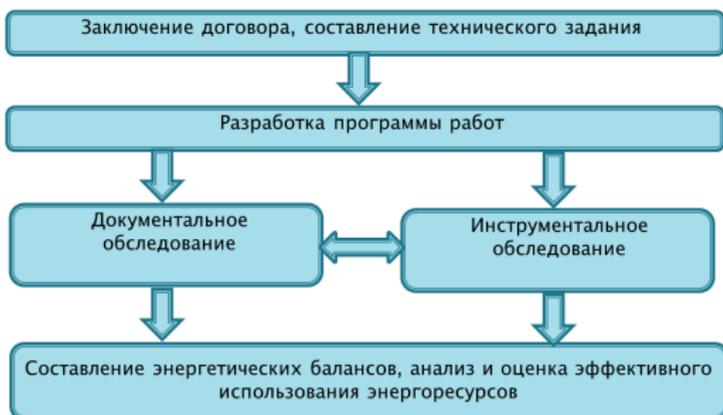


Рис. 2 Общая схема проведения энергоаудита

Энергетический паспорт должен содержать [10]:

1. На стадии разработки проектной документации – сведения из теплотехнических и энергетических спецификаций здания;

2. На стадии сдачи объекта в эксплуатацию – результаты подтверждения значений, принятых на первом этапе или результат анализа их расхождений со значениями, принятыми по итогам возведения здания; при необходимости заказчик или государственная экспертиза вправе инициировать проведение демонстрационных испытаний [11];

3. На стадии эксплуатации объекта – результаты подтверждения значений, принятых на первом этапе или результат анализа их расхождений со значениями после 1 года эксплуатации (выборочно) для более уточнения реализованных решений по повышению энергоэффективности.

При проверке оснований практики применения норм энергоэффективности в странах Европы и в Республике Беларусь и определении теплоэнергетических параметров необходимо строго соблюдать правила расчета, представленные в нормативных документах: EN 832, DIN 4701-10, СП 2.04.02-2020 и др. Энергетический паспорт как инструмент привлечения инвестиций обязателен к применению во всех странах Европы в соответствии с «Директивой ЕС по энергетическим показателям зданий».

Повышение энергетической эффективности здания несёт экономическую выгоду вследствие снижения энергопотребления. Так, установка энергосберегающего оборудования может значительно снизить затраты на энергию, что приведет к сокращению операционных расходов, а также к

повышению рыночной конкурентоспособности здания и его стоимости при продаже или сдаче в аренду, так как потенциальные покупатели или арендаторы могут видеть в нём преимущества снижения эксплуатационных расходов. Кроме того, при наличии энергетического паспорта возможно получение государственных субсидий или льготных условий по энергообеспечению [12].

Создание энергетического паспорта здания дополнительно косвенно способствует улучшению качества воздуха внутри здания, поскольку проведение аудита энергопотребления позволяет выявить области, где воздух может быть загрязнен из-за неправильной вентиляции или утечки воздуха. Регулярное проведение аудитов энергопотребления вероятнее всего также снизит затраты на обслуживание здания. В частности, регулярная проверка систем отопления и кондиционирования воздуха способна предотвратить возможные проблемы и увеличить срок службы оборудования.

В силу вышеизложенного можно утверждать, что энергопаспорт потенциально способствует созданию комфортных условий проживания в здании.

Вывод

Таким образом, важность создания паспортов энергоэффективности для многоквартирных домов, является значимой технологией, которая представляет собой значительный потенциал для энергосбережения, повышения качества и доступности жилищно-коммунальных услуг, также стоит отметить следующие важные показатели от применения паспортов энергоэффективности:

1. Улучшение энергетической эффективности зданий и сооружений: Паспорта энергоэффективности позволяют оценить и сравнить энергетическую эффективность различных объектов, а также разработать и реализовать мероприятия по ее повышению. Это позволяет снизить потребление энергии на отопление, вентиляцию, кондиционирование воздуха, освещение и другие нужды, что приводит к уменьшению затрат на энергоресурсы и снижению выбросов парниковых газов.

2. Учет и контроль потребления энергии: Паспорта энергоэффективности содержат подробную информацию о потреблении энергии и энергетических ресурсах, используемых в зданиях. Это помогает осуществлять контроль и учет потребления энергии, а также устранять возможные потери.

3. Исходя из пункта выше стоит отметить важность от использования датчиков с технологией Интернета вещей. Все эти примеры показывают, как IoT датчики могут повысить энергоэффективность, оптимизируя использование энергии и снижая ее потери. Все датчики могут быть интегрированы в систему умного дома, которая предоставляет удобный интерфейс для мониторинга и управления всеми устройствами.

4. Стимулирование инвестиций в энергоэффективные технологии: Применение паспортов энергоэффективности может стимулировать инвестиции в энергосберегающие технологии и оборудование. Это способствует созданию новых рабочих мест, развитию промышленности, а также улучшению экологической обстановки.

5. Повышение конкурентоспособности предприятий: Паспорта энергоэффективности могут стать одним из критериев при оценке конкурентоспособности предприятий. Предприятия, обладающие высокими показателями энергоэффективности, имеют больше шансов на успех на рынке и привлечение инвестиций.

На основании проведённого анализа:

1) предварительно проработаны стандартизованные процедуры определения класса энергетической эффективности здания (сооружения) как основы методики множественного формирования и ведения паспортов энергетической эффективности жилых домов;

2) предварительно проработаны методологические основы формирования релевантных выборок жилых домов, по техническим сведениям, из электронных реестров, формируемых городскими районными предприятиями ЖКХ, осуществляющими ремонт и техническое обслуживание жилого и нежилого фонда;

3) установлено, что ведение паспортов энергоэффективности жилых домов является новым видом деятельности для предприятий ЖКХ и их вышестоящих организаций, требующим концептуальной проработки их согласованного взаимодействия с экономическим обоснованием такой работы и привлечением на начальной стадии профильных проектных организаций;

4) методологически проработаны и систематизированы для дальнейшей работы требования руководящих документов Республики Беларусь, стандартов Республики Беларусь и международных стандартов в области информационных технологий к построению информационных систем.

По результатам исследований сформирован задел для разработки методики, а также общего и частных технических заданий на создание информационной системы формирования и ведения паспортов энергоэффективности жилых домов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование теплового баланса жилых зданий многоэтажной застройки и моделирование процессов энергопотребления для дома «нулевой энергии» : отчет о НИР (промежуточный, этап 2) / НАН Беларуси, Ин-т жилищ.-коммунал. хоз-ва ; рук. В. О. Китиков. – Минск, 2022. – 112 с. – № ГР 20210247.

2. Моделирование процессов эксплуатации, технического обслуживания, ремонта жилых зданий. Методологическое сопровождение эксплуатации жилищного фонда на принципах информационного моделирования зданий для снижения эксплуатационных затрат и повышения уровня диспетчеризации: отчет о НИР (промежуточный, этап 3, подэтап 3.2) // НАН Беларуси, Ин-т жилищ.-коммунал. хоз-ва ; рук. И. В. Барановский. – Минск, 2023. – 83 с. – № ГР 20210656.

3. Исследование теплового баланса жилых зданий многоэтажной застройки и моделирование процессов энергопотребления для дома «нулевой энергии» : отчет о НИР (промежуточный, этап 1, подэтап 1.1) / НАН Беларуси, Ин-т жилищ.-коммунал. хозяйства ; рук. В. О. Китиков. – Минск, 2021. – 109 с. – № ГР 20210247.

4. Исследование теплового баланса жилых зданий многоэтажной застройки и моделирование процессов энергопотребления для дома «нулевой энергии» : отчет о НИР (промежуточный, этап 2, подэтап 2.1) / Ин-т жилищ.-коммунал. хозяйства НАН Беларуси ; рук. В. О. Китиков. – Минск, 2022. – 83 с. – № ГР 20210247.

5. Тепловая защита жилых и общественных зданий. Энергетические показатели : СП 2.04.02-2020. – Введ. 01.02.2021. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2020. – 33 с.

6. Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики. Правила определения : ТКП 45-2.04-196-2010. – Введ. 01.09.2010. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 48 с.

7. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность : СН 2.04.02-2020. – Введ. 30.03.2021. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2021. – 25 с.

8. Энергосбережение. Энергетический паспорт потребителя топливно-энергетических ресурсов. Общие требования : СТБ 1774-2010. – Введ. 01.07.2010. – Минск : Госстандарт, 2010. – 26 с.

9. Положение о порядке и условиях проведения государственной экспертизы энергетической эффективности [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь, 18 марта 2016 г., № 216 // Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. – Режим доступа: https://energoeffect.gov.by/downloads/laws/resolution/20220327_psm_216.pdf. – Дата доступа: 19.04.2024.

10. Основные показатели энергетического паспорта [Электронный ресурс] // Энергетик. – Режим доступа: http://energetik-ltd.ru/statii/statii8/osnovnie_pokazateli_energeticheskogo_pasporta. – Дата доступа: 12.12.2023.

11. Жуков Е. А. Энергетический паспорт – выгода или затрата? [Электронный ресурс] / Е. А. Жуков // Энергосовет. – 2014. – № 2. – Режим доступа: http://www.energosoвет.ru/bul_stat.php?idd=456. – Дата доступа: 19.04.2024.

Тимошкевич Иван Валерьевич, магистр экономики, аспирант кафедры информационно-коммуникационных технологий Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; Научный сотрудник, Государственного научного учреждения «Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси», Минск, Беларусь. г. Минск, ул. Академика Купревича, д.10, к.507, 220084, телефон: +375259299303, email: institut-gkh@mail.ru

Timoshkevich Ivan Valerievich, MSc in Economics, PhD student of the Department of Information and Communication Technologies Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics; Research Associate, State Scientific Institution "Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Belarus. Minsk, Akademika Kuprevicha str., 10, 220084, telephone: +375259299303, email: institut-gkh@mail.ru

УДК 621.396

Ященко Федор Викторович, Панченко Артем Сергеевич

АДАПТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ФУНКЦИЕЙ ИНЖЕКЦИИ АНТИИСКАЖЕНИЙ В СЕТЬ

В работе предлагается структура источника вторичного электропитания, работающего в сетях переменного напряжения с мощностью нагрузки, сопоставимой с мощностью питающего силового трансформатора, или в автономных системах электроснабжения с ограниченной мощностью. Цель предлагаемой структуры – расширение функциональных возможностей устройства: компенсация неактивной (реактивной мощности и мощности искажений) составляющей полной мощности в однофазной сети переменного тока с ограниченной мощностью, улучшение качества питающего напряжения, снижение потерь мощности и напряжения в питающей сети.

Источник вторичного электропитания, антиискажения, адаптивная система регулирования, компенсация.

Yashchenko Fedor Viktorovich, Panchenko Artem Sergeevich

ADAPTIVE SWITCH MODE POWER SUPPLY WITH ANTI-DISTORTION INJECTION FUNCTION INTO THE NETWORK

The paper proposes the structure of a switch mode power supply, working in networks of variable pressure(voltage) with capacity of load, comparable with capacity of feeding power(force) transformer, or in independent systems power supply with limited capacity is offered. The purpose of a offered structure - expansion of functional opportunities of a device: adaptive indemnification inactive (reactive power and distortion power) making complete capacity in a single-phase alternating current circuit, improvement of quality of a feeding pressure(voltage), decrease(reduction) of losses of capacity and pressure(voltage) in a feeding network.

Switch mode power supply, antidistortion, adaptive system of regulation, indemnification.

Введение

С ростом числа нелинейных нагрузок возникает серьезная проблема с обеспечением электромагнитной совместимости источников вторичного электропитания (ИВЭП). Нормы качества электроэнергии и требования к

помехозащищенности ИВЭП отображены в соответствующих стандартах [1–3]. Хотя борьба с помехами в электронике подробно описана [4,5], проблемы ЭМС в системах питания до сих пор не получили полного решения.

В последние годы объем электроники, используемой в бытовых условиях, в офисах и на производстве, значительно возрос, и во многих устройствах используются импульсные источники питания. Эти источники создают гармонические и нелинейные искажения тока, что отрицательно сказывается на электрической проводке и приборах, подключенных к ней. Это воздействие проявляется не только в различных помехах, влияющих на работу чувствительной техники, но также в перегреве нейтральной линии. При протекании токов с выраженными гармоническими составляющими, не совпадающими по фазе с напряжением, ток в нейтральном проводе (который при сбалансированной нагрузке практически равен нулю) может достичь критического уровня.

Основная часть

Целью предлагаемого устройства является усовершенствование функций, а именно, компенсация неактивных (реактивной и искажающей) компонентов полной мощности в однофазной сети переменного тока с ограниченной мощностью, повышение качества питания и уменьшение потерь мощности и напряжения в энергосистеме.

Компенсация искажений достигается за счет введения в устройство коррекции коэффициента мощности адаптивной системы регулирования. На рис. 3 изображена структурная схема ИВЭП.

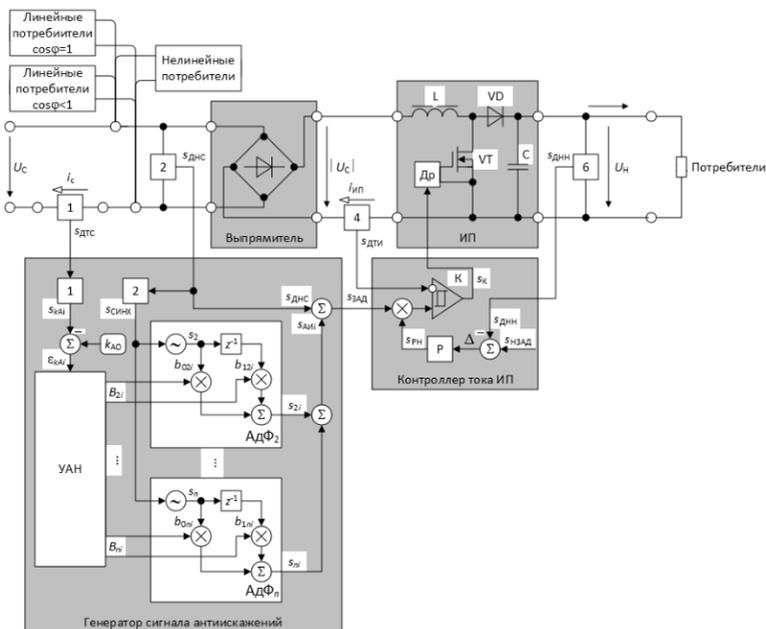


Рис. 3. Структурная схема источника вторичного электропитания

Контроль формы входного тока импульсного преобразователя выполняет датчик тока 4, на выходе которого формируется сигнал $s_{дти}$. Сигнал выходного напряжения импульсного преобразователя $s_{днн}$ формируется датчиком напряжения потребителей 6 [9].

Генератор сигнала антиискажений предназначен для корректировки формы входного тока системы бесперебойного питания. В состав генератора антиискажений входит N (по числу гармоник) количество однотипных адаптивных нерекурсивных фильтров первого порядка в составе – генератора синусоидальной формы n -гармоники, элемента задержки, двух перемножителей и сумматора.

Сигналы адаптивных фильтров S_n суммируются и на выходе образуется сигнал антиискажений $S_{дн}$. В результате адаптивной обработки гармонических составляющих напряжения сети [6,10], на выходе генератора антиискажений формируется сигнал задания $S_{зад}$ формы тока импульсного преобразователя напряжения. Синхронизация адаптивных фильтров по напряжению сети выполняется сигналом $S_{днс}$, поступающего на вход син-

хронизатора 2, синхронизатор вырабатывает сигнал, позволяющий сформировать гармоники сети от 2-ой до n-ой.

Процесс формирования сигнала задания $S_{зад}$ носит итеративный характер, который заключается в том что, на i -м шаге итерации устройство адаптивной настройки (УАН) для каждого из адаптивных фильтров $АдФ_2, \dots, АдФ_n$, формирует вектор весовых коэффициентов B_{2i}, \dots, B_{ni} который обеспечивает установку сигналов S_{2i} с произвольной амплитудой и начальной фазой. Для этой цели критерием минимума искажений является коэффициент амплитуды S_{kai} входного тока системы на i -м шаге настройки. Для синусоидальной формы тока (т.е. при отсутствии искажений) коэффициент амплитуды $K_a = \sqrt{2}$ [7,8], это значение является образцовым и относительно него вырабатывается сигнал ошибки на i -шаге, т.е.

$$EK_{ai} = K_{a0} - SK_{ai} \quad (1)$$

На рис. 1 приведена схема замещения линии электропитания с подключенными к ней различными потребителями в точке общего присоединения (ТОП).

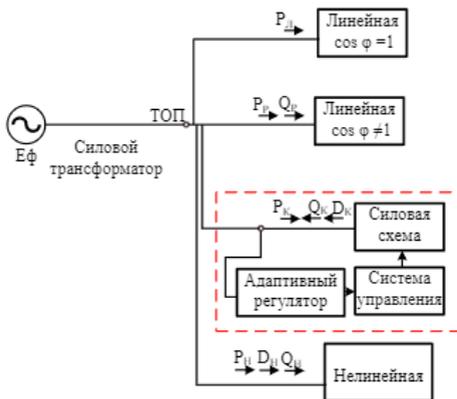


Рис. 1. Схема замещения линии электропитания

Потребители системы представлены потребителями с различным характером нагрузки:

- линейная нагрузка с $\cos \varphi = 1$, потребляющая активную мощность P_D ;
- линейная нагрузка с $\cos \varphi \neq 1$, потребляющая активную мощность P_R и реактивную Q_R ;

– предлагаемое устройство – источник вторичного электропитания с компенсацией искажений в питающей сети, потребляющий активную P_K и генерирующим в сеть реактивную Q_K и мощность искажений D_K ;

– нелинейная нагрузка, потребляющая активную мощность P_H , реактивную Q_H и мощность искажений D_H .

Ток i_c потребляемый ИВЭП от сети содержит гармонические составляющие, возникающие из-за работы нелинейных нагрузок. Это приводит к тому, что коэффициент амплитуды входного тока i_c отличается от значения, характерного для чисто синусоидальной кривой. Оценим суммарный потребляемый ток i_c при работе всех потребителей, при условии, что предлагаемый ИВЭП с компенсацией искажений в однофазной сети переменного тока потребляет активную мощность и генерирует реактивную мощность $Q_K < 0$ и мощность искажений $D_K < 0$:

$$i_c = \frac{\sqrt{P_L^2 + P_P^2 + Q_P^2 + P_H^2 + Q_H^2 + D_H^2 + P_K^2 - Q_K^2 - D_K^2}}{U_c}. \quad (2)$$

В данном случае коэффициент амплитуды кривой потребляемого тока приближается к значению, характерному для синусоидальной формы. Процесс инжекции высших гармонических составляющих в питающую сеть осуществляется путем адаптивной подстройки генератора антиискажений.

Выводы

Анализ выражения (2) показывает, что инжекция в питающую сеть гармоник тока со стороны предлагаемого ИВЭП с компенсацией искажений в питающей сети позволяет обеспечить положительный эффект:

1. Снижение гармонических искажений: инжекция антиискажений тока в сеть позволяет снизить уровень гармонических составляющих питающего напряжения в сети, что может привести к нестабильной работе электронного оборудования, снижению его срока службы и т.д.

2. Улучшение качества электроэнергии: повышение качества электроэнергии благодаря снижению гармоник обеспечит более эффективную работу электронного оборудования, что в свою очередь снизит затраты на электроэнергию, повысит надежность питания ответственных потребителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва : Издательство стандартов, 2014.– 20 с.
2. ГОСТ Р МЭК 61000-6-7-2019. Электромагнитная совместимость (ЭМС). – Москва : Издательство стандартов, 2019.– 28 с.
3. ГОСТ Р 54149–2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва : Издательство стандартов, 2013.– 20 с.
4. *Артюхов И. И.* Электромагнитная совместимость и качество электроэнергии [Электронный ресурс]: учеб. пособие / И. И. Артюхов, А. Г. Сошинов, И. И. Бочкарева ; КТИ (филиал) ВолгГТУ. - Волгоград : ВолгГТУ, 2015. - 124 с. – ISBN 978-5-9948-1738-4.
5. *Севернс Р. П.* Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания / Р. П. Севернс, Г. А. Блум; под редакцией Л. Е. Смольникова. - Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 294 с. – ISBN 5-283-02435-0.
6. *Уидроу Б.* Адаптивная обработка сигналов / Б. Уидроу С. Стирнз - М.: Радио и связь, 1989. 440 с. – ISBN 5-256-00180-9.
7. *Попов В. С.* Измерение среднеквадратического значения напряжения / В. С. Попов, И. Н. Желбаков - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 120 с.
8. *Алексенко А. Г., Коломбет Е. А., Стародуб Г. И.* Применение прецизионных аналоговых микросхем - 2-е изд., перераб. и доп / А. Г. Алексенко, Е. А. Коломбет, Г. И. Стародуб :- М.: Радио и связь, 1985. - 256 с.
9. *Солодовников В. В.* Теория автоматического управления техническими системами: учебное пособие / В. В. Солодовников, В. Н. Плотников, А. В. Яковлев. – Москва : Изд-во МГТУ, 1993.- 492 с. – ISBN 5-7038-0331-4.
10. *Гольденберг Л.М.* Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие для вузов / Л.М. Гольденберг, Б.Д. Матюшкин, М.Н. Поляк. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с. – ISBN 5-256-00678-9.

Ященко Федор Викторович, магистрант Кубанского государственного университета, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, Ставропольская ул., д.149., 350040, телефон: +7 (961)585-38-36, email: vicbox50@gmail.com.

Панченко Артем Сергеевич, магистрант Кубанского государственного университета, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, Ставропольская ул., д.149., 350040, телефон: +7 (918)964-85-76, email: artem4panchenko@gmail.com.

Yashchenko Fedor Viktorovich, master's student at Kuban State University, Russia, Krasnodar region, Krasnodar, Stavropolskaya st., 149, 350040, phone: +7(961)585-38-36, email: vicbox50@gmail.com.

Panchenko Artem Sergeevich, master's student at Kuban State University, Russia, Krasnodar region, Krasnodar, Stavropolskaya st., 149, 350040, phone: +7(918)964-85-76, email: artem4panchenko@gmail.com.

УДК 621.396

Власов Владимир Михайлович

ДЕФЕКТОСКОПИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В представленной работе рассматривается задача определения трещин на поверхности по видеоизображениям оптико-электронной камеры. Для решения предлагается использовать искусственную нейронную сеть, обученную на массиве изображений, содержащих трещины и без них. В качестве структуры нейросети был выбран сверточный тип, как наиболее подходящий для работы с изображениями. Сформирована сверточная нейронная сеть из двух сверточных слоёв для бинарной классификации изображений. Обучение модели было остановлено на 26 эпохе с численным результатом точности проверки 98%. Для оценки качества модели построена матрица путаницы и сформирован классификационный отчет, показавший, что обученная модель совершает правильные предсказания с вероятностью 96–98%. Написан код программы для распознавания трещин на поверхности по изображениям, выводящий в результате изображение с трещиной и координаты расположения трещины. Разработан алгоритм для постобработки изображения, который выделяет поврежденную зону поверхности, строит контуры трещины и оптимальную по точности траекторию для прохождения сварочного аппарата для устранения трещины. Основные вычисления и написание кода программы были проведены с использованием языка программирования Python.

Дефектоскопия, металл, искусственная нейронная сеть, сверточный тип, бинарная классификация.

Vlasov Vladimir Mikhailovich

DEFECTOSCOPY OF METAL SURFACES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

The presented work considers the problem of determining cracks on a surface from images. For the solution, it is proposed to use an artificial neural network trained on an array of images containing cracks and without them. The convolutional type was chosen as the structure of the neural network as the most suitable for working with images. A convolutional neural network of two convolutional layers was formed for binary image classification. The training of the model was stopped at epoch 26 with a numerical result of 98% verification accuracy. To evaluate the quality of the model, a confusion matrix was constructed and a classification report was generated showing that the trained model makes correct predictions with 96-98% probability. A program code for recognizing surface cracks from images was written, outputting an image with a crack and the coordinates of the crack location. An algorithm for image post-processing is developed that highlights the damaged area of the surface, constructs the crack contours and the optimal trajectory for passing the welding machine to repair the crack. The basic calculations and writing of the program code were performed using the Python programming language.

Defectoscopy, metal, artificial neural network, convolutional type, binary classification.

Введение

В современном мире промышленности и технологического развития, безопасность играет критическую роль, особенно в контексте надежности конструкционных материалов и оборудования. Одним из ключевых вызовов в этой сфере является раннее выявление и оценка трещин на поверхностях материалов, что имеет огромное значение для предотвращения аварий и улучшения долговечности конструкций. Традиционные методы визуального осмотра и анализа, хотя и эффективны, могут быть субъективными, требовать значительного времени и ресурсов специалистов.

В этом контексте, применение искусственных нейросетей (ИНС) становится чрезвычайно актуальным и перспективным подходом к проблеме поиска трещин на основе фото и видеоизображений. ИН, особенно глубокое обучение и сверточные нейросети, обладают уникальной способностью автоматически извлекать сложные характеристики из изображений, что делает их идеальными для задач компьютерного зрения.

Целью работы является разработка автоматизированного устройства для распознавания трещин на поверхности по изображениям

Объектом исследования является комплекс технического зрения – оптико-электронная камера и соответствующее программное обеспечение (ПО).

В работе были поставлены следующие задачи:

- обзор существующих методов диагностики повреждений;
- выбор технических средств для разработки ПО;
- создание эталонной выборки, формирование dataframes;
- создание и обучение модели сверточной ИНС для бинарной классификации изображений;
- оценка качества модели: построение матрицы путаницы и формирование классификационного отчета;
- создание алгоритма обработки изображений с помощью модели, формирование вывода данных и тестирование;
- создание алгоритма постобработки изображения с выделением поврежденной зоны поверхности;
- создание алгоритма построения оптимальной траектории для прохождения сварочного аппарата для устранения трещины.

Проведем краткий обзор современного состояния развития науки и техники. Работа Д. Хопфилда [1] внесла значительный вклад в развитие теории нейронных сетей. Автор предложил новый класс нейронных сетей, способных обучаться и запоминать информацию. Это исследование заложило основы для использования нейронных сетей в решении различных задач, включая распознавание образов.

В исследовании А. Крижевского и Я. Лекуна [2] предложен новый подход к обучению ИНС, основанный на использовании большого количества данных и эффективного алгоритма обратного распространения. Этот подход привел к значительному улучшению качества распознавания изображений и стал основой для многих последующих исследований в области глубокого обучения.

В работа И. Михальчука [3] предложено использование нейронных сетей для поиска ассоциативных правил в больших наборах данных. Этот подход позволил обрабатывать большие объемы информации и находить скрытые закономерности в данных.

Выбор технических средств и разработка программного обеспечения

На этапе подготовки были выбраны следующие технические средства для разработки ПО: язык программирования – Python; среда разработки – Kaggle и Google Colaboratory; библиотеки языка Python: TensorFlow, NumPy, Pandas, Matplotlib, Plotly, Pathlib для функции Path, Sklearn для split, matrix. После обработки изображений эталонной выборки и формирование набора входных данных из их путей программой было найдено 3360 изображений для обучения, 840 для валидации и 1800 для тестирования. Все эти изображения принадлежат к двум классам.

Далее была создана нейронная сеть для бинарной классификации изображений, состоящая из двух сверточных слоёв с максимальным объединением между ними. Сначала модель извлекает признаки изображения с помощью сверточных слоев, затем уменьшает размер данных с помощью пулинга и в конце выдает вероятность принадлежности к одному из двух классов. В нашем случае обучение модели остановилось на 26 эпохе с численным результатом точности проверки примерно 98%. На рис. 1 представлен график потерь при обучении с течением времени. Потери при обучении постоянно уменьшаются. Однако они достигают точки, когда перестают уменьшаться, а затем начинают расти. После чего обучение модели останавливается и для неё возвращаются веса с лучшей эпохи.

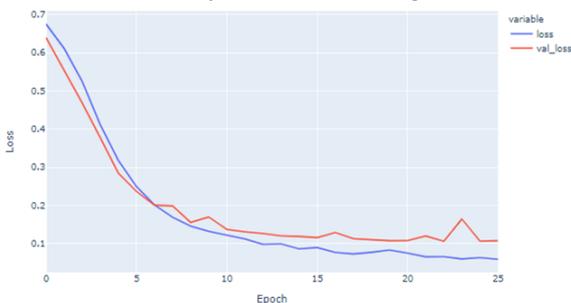
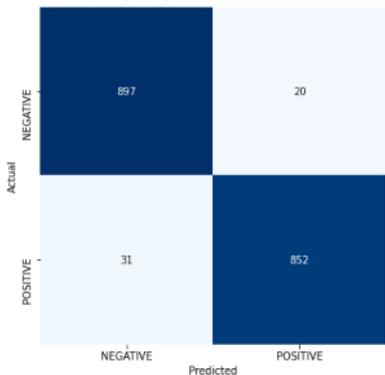


Рис. 1. График потерь при обучении с течением времени

Во время оценки качества модели получен результат точности 97,17%. Матрица путаницы на рис. 2 показывает, что у модели мало неправильных классификаций по сравнению с правильными: 897 отрицательных и 852 положительных правильных классификаций против 31 и 20 неправильных. Отношения количества правильно предсказанных классификаций к непра-

вильным посчитаны и указаны в классификационном отчете на рис. 3. Это означает, что обученная модель совершает правильные предсказания с вероятностью 96–98%.



Classification Report:

	precision	recall	f1-score	support
NEGATIVE	0.97	0.98	0.97	917
POSITIVE	0.98	0.96	0.97	883
accuracy			0.97	1800
macro avg	0.97	0.97	0.97	1800
weighted avg	0.97	0.97	0.97	1800

Рис. 2. Матрица путаницы

Рис. 3. Классификационный отчет

Для тестирования модели был загружен набор данных содержащих 30 изображений поверхности, принадлежащих одному классу. В результате выполнения созданной функции scan_model получаем три изображения на рис. 4 и замечаем, что действительно на всех выбранных элементах присутствуют трещины. Также вместе с изображениями выводятся строки, в которых указаны координаты трещин, взятые из имен файлов.

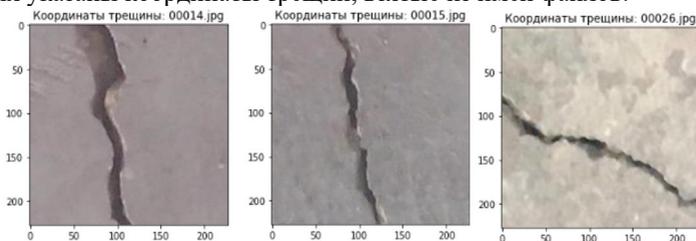


Рис. 4. Результат вывода в консоль изображений, на которых по предсказанию модели присутствуют трещины, и координаты трещин

Для постобработки изображение преобразовали в градации серого, применили фильтр Собеля и фильтр Гаусса, нашли контуры, выбрали самый большой, создали маску контура, получили два изображения с наложенным примерным контуром трещины на поверхности. Используя альфа-канал для регулировки прозрачности, был наложен контур и получено объединенное изображение (рис. 5). Заметим, что полученные контуры трещины совпадают с теми, что видны на исходном изображении поверхности.

Далее, был написан программный алгоритм для поиска точек, соответствующих контуру трещины на изображении, составлен массив координат, по которому происходит построение оптимальной по кривизне траектории с помощью полиномиальной аппроксимации.

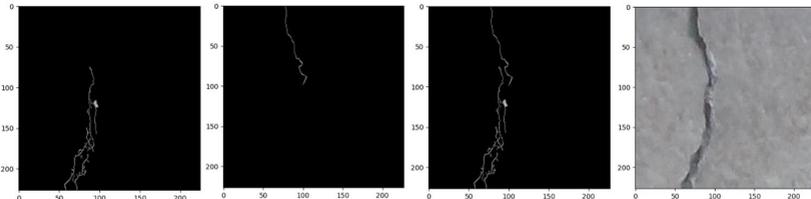


Рис. 5. Слева направо: изображение с наложенным первым контуром, затем вторым контуром, объединенное наложением контуров и исходное

Для сравнения были построены графики, полученные аппроксимацией полиномами первой, второй, третьей и пятой степени по кривизне траектории, которые представлены на рис. 6.

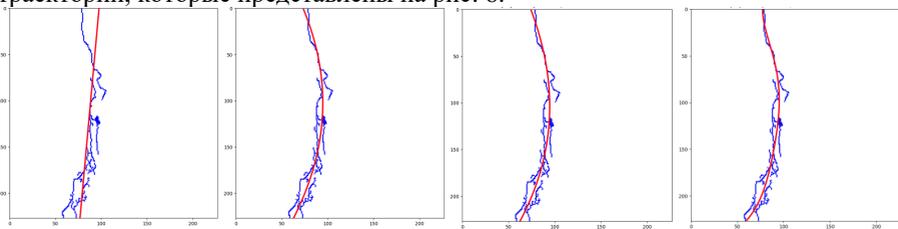


Рис. 6. Графики, полученные аппроксимацией полиномами первой, второй, третьей и пятой степени по кривизне траектории (слева направо)

Заметим по рис. 6, что построенная линия повторяет изгибы трещины на исходном изображении и повторяет её лучше с увеличением степени полинома. В нашем случае остановимся на пятой степени, поскольку дальнейшее её увеличение может привести к излишнему ис-

кривлению графика. В результате получаем график оптимальной по точности траектории для прохождения выходным звеном сварочного аппарата для устранения трещины на поверхности.

Выводы

В работе рассматривалась задача определения трещин на поверхности по изображениям с применением искусственной нейронной сети, обученной на массиве изображений, содержащих трещины и без них. В результате выполнения работы была сформирована сверточная нейронная сеть из двух сверточных слоёв для бинарной классификации изображений. Обучение модели было остановлено на 26 эпохе с численным результатом точности проверки 98%. Для оценки качества модели построена матрица путаницы и сформирован классификационный отчет, показавший, что обученная модель совершает правильные предсказания с вероятностью 96–98%. Написан код программы для распознавания трещин на поверхности по изображениям, выводящий в результате изображение с трещиной и координаты расположения трещины. Разработан алгоритм для постобработки изображения, который выделяет поврежденную зону поверхности, строит контуры трещины и оптимальную траекторию для прохождения сварочного аппарата для устранения трещины. Основные вычисления и написание кода программы были проведены с использованием языка программирования Python. Продемонстрирована высокая степень готовности к внедрению разработки в производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hopfield J. J.* (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79(8), 2554–2558. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.79.8.2554> (дата обращения: 15.02.2024).

2. *Krizhevsky A., Sutskever I., & Hinton G. E.* (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 25, 1097–1105. URL: <http://papers.nips.cc/paper/4824-imagenet-classification-with-deep-convolutional-neural-networks.pdf> (дата обращения: 25.02.2024).

3. *Michalchuk I.* (2004). Neural network discovery of association rules for large datasets. *International Journal of Intelligent Systems*, 19(1), 51–72. URL: <https://doi.org/10.1002/int.10112> (дата обращения: 05.03.2024).

4. *Заенцев И.В.* Нейронные сети: основные модели/Учебное пособие физ. ф-та. Воронеж. 1999.
5. *Головкин В.А.* Нейронные сети: обучения, организация и применение / М.: ИПРЖР. 2008
6. *Каширина И. Л.* Нейросетевые технологии: Учебно-методическое пособие для вузов /Изд-во ВГУ. 2008. 72 с.
7. *Кочеткова А.С.* Применение нейронных сетей для мониторинга безопасности // Серия 9: Исследования молодых ученых. 2007.
8. *Крисилов В.А.* Представление исходных данных в задачах нейросетевого программирования / Одесса: ОНПУ. 2003.
9. *Кружлов В.В.* Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / ФИЗМАЛИТ. 2001.
10. *Шахнов В.А., Власов А.И., Кузнецов А.С.* Нейрокомпьютеры: архитектура и схемотехника / М.: Изд-во Машиностроение. 2000. 64 с.
11. *Хайкин С.* Нейронные сети. Полный курс / М.: Вильямс, 2006.

Власов Владимир Михайлович, магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, г. Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1, 111250, телефон: +7 (926) 599-91-93, email: vlasov2000vladimir@yandex.ru.

Vlasov Vladimir Mikhailovich, Candidate National Research University «Moscow Power Engineering Institute», 111250, Russia, Moscow, Krasnokazarmennaya str., 14, p. 1, phone: +7 (926) 599-91-93, email: vlasov2000vladimir@yandex.ru.

УДК 004.232

Кучеренков Александр Петрович, Конченков Владимир Игоревич

МОДУЛЬ СБОРА ДАННЫХ С LoRa КЛИЕНТОВ

Разработан аппаратно-программный комплекс на базе LoRa-модуля и микроконтроллера серии STM32. Система осуществляет приём пакетов данных со сторонних LoRa передатчиков и по разработанному протоколу обмена данных на базе интерфейса SPI отправляет данные главному контроллеру.

Технология LoRa, интерфейс SPI, микроконтроллер STM32, модульный принцип.

Kucherenkov Alexander Petrovich, Konchenkov Vladimir Igorevich

DATA COLLECTION MODULE FROM LORA CLIENTS

A hardware and software package based on the LoRa module and the STM32 series microcontroller has been developed. The system receives data packets from third-party LoRa transmitters and sends data to the main controller using the developed data exchange protocol based on the SPI interface.

LoRa technology, SPI interface, STM32 microcontroller, modular principle.

Введение

Стремительное развитие систем автоматического мониторинга и развитие радиоэлектроники позволяют разрабатывать энергоэффективные и автономные средства передачи малых пакетов данных.

Технология LoRa это технология модуляции маломощной сети передачи данных со скоростью 0,3-50 кб/с и дальностью от 1 до 15 км. создана для межмашинного (M2M) взаимодействия и используется для передачи данных в автономных датчиках экологического наблюдения и коммунальном хозяйстве.

В настоящей работе выполнено проектирование и изготовлен прототип комплекса сбора данных с LoRa клиентов, используемый для удалённого мониторинга температуры, скорости ветра, влажности и прочих параметров на объектах промышленности и домашней автоматизации. Так же для повышения эффективности системы выполнена разработка протокола обмена данными между модулями системы.

Цель статьи - продемонстрировать процесс разработки и тестирования приёмника пакетов данных с использованием технологии LoRa и протокола обмена между модулями системы.

Проектирование приёмника сообщений по сети LoRa

Модуль приёмника LoRa представляет собой систему из двух чипов - микроконтроллера серии STM32 (STM32F030F4P6) и LoRa-модуля (RFM96W).

Соединение с модулем LoRa происходит по интерфейсу SPI, где LoRa-модуль выступает ведомым устройством, а контроллер STM32F030F4P6 выступает в роли ведущего. Также у LoRa-модуля есть несколько программируемых пинов, из которых используется всего один, который сигнализирует о получении пакета данных с внешних LoRa передатчиков.

Соединение с внешним главным устройством сделано аналогичным способом, с добавлением ещё двух линий ввода-вывода общего назначения, отвечающих за выбор режима работы микроконтроллера. В данном случае уже микроконтроллер STM32F030F4P6 выступает в роли ведомого устройства.

На рис. 1 показана система подключения приёмника LoRa модуля с главным устройством. В качестве главного устройства выступает микроконтроллер серии STM32 (STM32F407VET6).

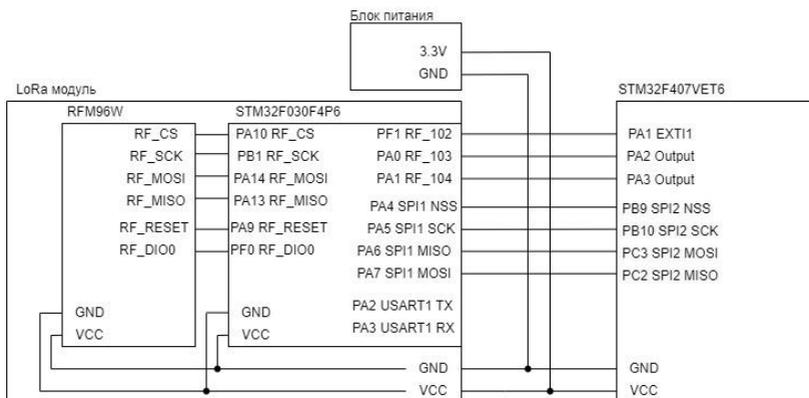


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная макета базовой станции для объединения всех модулей

Микроконтроллер STM32F030F4P6 располагает только одним аппаратным интерфейсом SPI, в то время как необходимо использовать два таких интерфейса. В связи с этим с LoRa модулем RFM96W соединение реализовано с помощью программного SPI на пинах: PB1 (CKL), PA14 (MOSI), PA13 (MISO), PA10 (CS).

Аппаратный интерфейс SPI используется для соединения с главным модулем в режиме ведомого. Пин PF1 микроконтроллера STM32F030F4P6 является аналогом пина DIO0 на LoRa модуле и выполняет те же функции, а именно сигнализирует главному устройству что пакет был успешно получен, обработан и готов для пересылки главному модулю.

По сути, микроконтроллер STM32F030F4P6 повторяет работу самого модуля RFM96W, но он необходим для расширения его возможностей в перспективе и снятия с главного модуля части задач, таких как первичная инициализация и настройка модуля.

Таблица 1

Список команд для управления ведомым устройством

1	2	3	4	Описание
0x00	address	X	X	Операция чтения регистра LoRa модуля. Результат чтения будет записан в первый байт промежуточного буфера. Второй параметр - адрес регистра LoRa модуля. Третий параметр - не используется и может быть любым.
0x01	address	var	X	Запись значения в регистр LoRa модуля. Второй параметр - адрес регистра LoRa модуля. Третий параметр - значение для записи.
0x02	num	X	X	Заполнение промежуточного буфера данными одного из буферов датчиков. Всего 8 буферов датчиков, которые заполняются последовательно сдвигом вправо, соответственно по адресу 0x00 всегда последний пришедший пакет. Второй параметр - номер буфера датчиков (0x00 – 0x07). Третий параметр - не используется и может быть любым.
0x03	var	X	X	Заполнение промежуточного буфера пришедшим байтом. Весь промежуточный буфер заполнится одним и тем-же значением. Второй параметр – значение для записи. Третий параметр - не используется и может быть любым.
0x04	index	var	X	Заполнение определённого байта промежуточного буфера. Промежуточный буфер размером в 65 байт. Второй параметр – индекс байта в промежуточном буфере. Третий параметр – значение для записи.
0x05	X	X	X	Операция установки в первый байт промежуточного буфера значение rssi Значение rssi последнего пришедшего пакета хранится в отдельной переменной и его таким образом можно считать. Второй параметр – не используется и может быть любым. Третий параметр - не используется и может быть любым.
0x06	var	X	X	Вкл/Выкл кода вечного цикла. В вечном цикле происходит постоянный опрос LoRa модуля, этой командой его можно отключить. (в последней ревизии данная команда отключена) Второй параметр - 0 – опрос выключен, 1 – опрос включен. Третий параметр - не используется и может быть любым.

0x07	var	X	X	Выбор TX/RX В теории в будущем можно будет перенастроить модуль с приёма на передачу. На данный момент передача не реализована и этой командой лучше не пользоваться, (в последней ревизии данная команда отключена) Второй параметр - 0 – приём, 1 – передача. Третий параметр - не используется и может быть любым.
0x08	var	var	X	Установка размера буфера Второй параметр - кол-во байт для чтения. Третий параметр - не используется и может быть любым.
0x09	var	X	X	Установить флаг, согласно которому в конце пакета будет приписываться RSSI Второй параметр: 0 – пакет без RSSI 1 – пакет с RSSI Третий параметр - не используется и может быть любым.
0x0A	var	var	X	Объединение двух предыдущих команд только флаг RSSI теперь передаётся вторым параметром, а размер буфера первым

Линии PA0 и PA1 управляются со стороны главного устройства и необходимы для выбора режимов работы ведомого.

При PA0 равном 0 и PA1 равном 0 ведомое устройство будет работать в режиме исполнения кода вечного цикла.

При PA0 равном 0 и PA1 равном 1 ведомое устройство один раз повторно инициализирует аппаратный SPI. Такая реализация позволяет в случае неисправности в любой момент повторно инициализировать SPI на ведомом устройстве.

При PA1 равном 0 и PA0 равном 1 микроконтроллер переходит в режим обработки команд. В буфер SPI подгружаются данные для обмена с ведущим, например ответ на предыдущую команду.

При PA1 равном 1 и PA0 равном 1 микроконтроллер переходит в режим передачи данных. В буфер SPI подгружается выбранный пакет данных, как правило — это последний принятый пакет от LoRa модуля.

Обмен данными с ведомым происходит согласно командам, представленным в табл. 1. Команда представляет собой слово из 4 байт. Некоторые команды представляют собой запросы на получение какой-либо

информации. Как правило, это получение всего буфера данных или получение одного байта информации сигнализирующего о успешности или неуспешности выполнения команды.

LoRa-модуль получает данные от сторонних LoRa передатчиков и может хранить до 8 пакетов данных размером до 65 байт.

Ниже приведен пример реализации настройки и управления ведомым устройством согласно табл. 1. Функция `set_pins()` настраивает линии, отвечающие за управление режимами работы ведомого устройства.

```
void set_pins(uint8_t mode)
{
    switch (mode)
    {
        case 0: RF_103_LOW; RF_104_LOW; break;
        case 1: RF_103_LOW; RF_104_HIGH; delay_ms(1); break;
        case 2: RF_103_HIGH; RF_104_LOW; delay_ms(1); break;
        case 3: RF_103_HIGH; RF_104_HIGH; delay_ms(1); break;
        default: RF_103_LOW; RF_104_LOW; break;
    }
}
```

Функция `SPI_TransmitReceive()` организуется стандартным образом, рекомендуемым в описании библиотеки HAL.

```
void SPI_TransmitReceive(uint8_t* pTxData, uint8_t* pRxData,
uint8_t Size)
{
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_SPI_TransmitReceive(&hspi2, (uint8_t*)(pTxData),
(uint8_t*)(pRxData), Size, 1000);
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_12, GPIO_PIN_SET);
}
```

Функция `send_command()` реализует отправку команду ведомому устройству.

```
uint8_t send_command(uint8_t p1, uint8_t p2, uint8_t p3,
uint8_t p4)
```

```

{
    EXTI->RTSR &= ~EXTI_RTISR_TR1;
    // Блокируем прерывания пина RF_102
    uint8_t tx_tmp[4] = { 0 };
    uint8_t rx_tmp[4] = { 0 };
    set_pins(2);
    tx_tmp[0] = p1; tx_tmp[1] = p2;
    tx_tmp[2] = p3; tx_tmp[3] = p4;
    SPI_TransmitReceive(tx_tmp, rx_tmp, 4);
    set_pins(1);
    EXTI->RTSR |= EXTI_RTISR_TR1;
    // Разрешаем прерывания пина RF_102
    return rx_tmp[0];
}

```

Функция `command_response()` используется для отправки команды и получения ответа ведомого.

```

uint8_t command_response(uint8_t p1, uint8_t p2, uint8_t p3,
uint8_t p4)
{
    uint8_t tmp = 0;
    tmp = send_command(p1, p2, p3, p4);
    tmp = send_command(0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF);
    return tmp;
}

```

Функция `get_buffer()` служит для считывания буфера.

```

void get_buffer(uint8_t* pTxData, uint8_t* pRxData, uint8_t
Size){
    EXTI->RTSR &= ~EXTI_RTISR_TR1;
    // Блокируем прерывания пина RF_102
    set_pins(3);
    SPI_TransmitReceive(pTxData, pRxData, Size);
    set_pins(1);
    EXTI->RTSR |= EXTI_RTISR_TR1;
}

```

```
    // Разрешаем прерывания пина RF_102
}
```

Функция `get_buffer_sensor()` служит для получения данных одного из буферов. Буфер может хранить до 8 последних принятых пакетов.

```
void get_buffer_sensor(uint8_t* pTxData, uint8_t* pRxData,
uint8_t Size, uint8_t rssi, uint8_t num_buf){
    // Установка размера буфера обмена
    send_command(0x0A, Size, rssi, 0xFF);
    // Установка одного из буферов датчиков для обмена
    send_command(0x02, num_buf, 0xFF, 0xFF);
    get_buffer(pTxData, pRxData, Size);
}
```

Выводы

Разработана система LoRa приёмника и протокол обмена данными с внешним контроллером по интерфейсу SPI, расширенному за счёт двух дополнительных управляющих линий, служащих для выбора режима работы модуля.

Устройство может служить для дополнения существующих устройств по передаче данных в условиях ограниченного покрытия других сетей или же их полного отсутствия, т.к. технология LoRa не нуждается в сторонней инфраструктуре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. LoRa RFM95/96/97/98(W) – supply24 – [Электронный ресурс] – URL: https://supply24.online/doc/manual/Poluprovodniki/Moduli-svyazi/HOPE-MICROELECTRONICS/RFM95_96_97_98W.pdf (дата обращения 12.05.2024).
2. Serial Peripheral Interface – Wikipedia – [Электронный ресурс] – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface (дата обращения 15.05.2024).
3. LoRa-module (SX1278) with STM32 – GitHub – [Электронный ресурс] – URL: <https://github.com/SMotlaq/LoRa> (дата обращения 17.05.2024).

Кучеренков Александр Петрович, Магистрант Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, проспект им.

В.И. Ленина, д. 28, 400005, телефон: +7 (9610) 69-90-24, email: kucherenko-valexander@gmail.com.

Конченков Владимир Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры "Электронно-вычислительные машины и системы", Волгоградского государственного технического университета, Россия, город Волгоград, проспект им. В.И. Ленина, д. 28, 400005, телефон: +7 (9047) 56-86-41, email: kontchenkov@yandex.ru.

Kucherenkov Alexander Petrovich, Undergraduate student at Volgograd State Technical University, Volgograd, V.I. Lenin Avenue, 28, 400005, Russia, phone: +7 (9610) 69-90-24, email: kucherenkovalexander@gmail.com .

Konchenkov Vladimir Igorevich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Electronic Computing Machines and Systems, Volgograd State Technical University, Volgograd, V.I. Lenin Avenue, 28, 400005, phone: +7 (9047) 56-86-41, email: kontchenkov@yandex.ru .

УДК 004.045

Криницин Павел Геннадьевич, Ченцов Сергей Васильевич

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СМАЗКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ КЛАССИФИКАЦИИ

Целью данной работы является исследование способа решения проблемы снижения срока службы подшипников качения, установленных на промышленном оборудовании, в результате их некачественной смазки в процессе эксплуатации. Известно, что до 50% всех внеплановых простоев промышленного оборудования происходит по причине разрушения подшипников [1]. При этом основной причиной отказа подшипников являются разного рода проблемы со смазкой: избыток и недостаток смазки в подшипнике и составляют до 40% от общего числа отказов [2].

В работе рассматривается метод классификации состояний составе комплекса по контролю за техническим состоянием оборудования, расширяя подшипников в зависимости от их диагностических параметров: различных показателей вибрации и температуры. Классификация осуществляется методами классического машинного обучения с целью выявления наилучших показателей точности модели.

Разработанный алгоритм возможно успешно использовать в возможности диагностических мероприятий.

Классификация, машинное обучение, метод опорных векторов SVM, случайный лес RFC, k-ближайших соседей KNN, точность, подшипник, смазка.

Krinitin Pavel Gennadievich, Chentsov Sergey Vasilievich

ASSESSMENT OF BEARING LUBRICATION CONDITION WITH THE USE OF NEURAL NETWORK CLASSIFICATION

The purpose of this work is to explore a method for solving the problem of reduced service life of rolling bearings installed on industrial equipment due to their poor lubrication during operation. It is known that up to 50% of all unplanned downtime of industrial equipment occurs due to bearing failure [1]. At the same time, the main cause of bearing failure is various lubrication problems: excess and lack of grease in the bearing account for up to 36% of all failures [2].

This work examines a method for classifying the conditions of bearings depending on their diagnostic parameters: various indicators of vibration and temperature. Classification is carried out using traditional machine learning methods with the aim of identifying the best model accuracy indicators.

The developed algorithm can be successfully used as part of a system for monitoring the technical condition of equipment, thereby expanding the capabilities of diagnostic measures.

Classification, machine learning, Support Vector Machine (SVM) method, Random Forest Classifier (RFC), k-nearest neighbors (KNN), accuracy, bearing, lubrication.

Введение

По данным современных исследований, до 40% прибыли теряет в среднем промышленное предприятие, по причине внеплановых простоев оборудования [1]. Учитывая, что состояние смазки подшипников играет в этих простоях доминантную роль, необходимо обеспечить непрерывный контроль за состоянием смазки подшипников в процессе эксплуатации. Смазка в подшипнике выполняет следующие функции [4]:

1. Образует между рабочими поверхностями упругую гидродинамическую пленку, защищающую тела качения, кольца и сепаратор от повреждений;

2. Снижает трение скольжения между телами качения подшипника;

3. Защищает подшипник от попадания загрязнений и образования коррозии;

4. Способствует эффективному охлаждению подшипника, способствуя тепло распределению.

Количество смазки в подшипниках, к сожалению, зачастую зависит от человеческого фактора и того, как сервисный персонал произведет техническое обслуживание оборудования.

Второй проблемой, требующей сокращения внеплановых отказов подшипников, является текущий дефицит качественных изделий на рынке. Это связано с уходом с рынка крупнейших производителей подшипниковой продукции – SKF, FAG, Timken, NSK, что связано с санкционной политикой иностранных производителей. По состоянию на 2009г. соотношение производителей подшипников на мировом рынке представлено на рис.1 [5]:

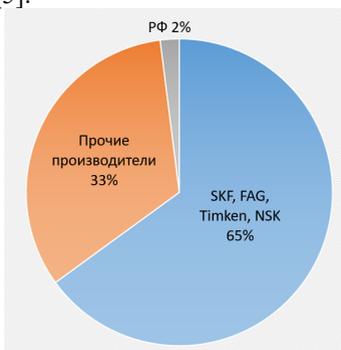


Рис. 1. Распределение производителей подшипников на мировом рынке

Предлагаемая модель позволяет выполнять диагностическую функцию по контролю за состоянием смазки в подшипниках в период эксплуатации, тем самым увеличивая ресурс их работы.

Основная часть

Для проведения исследования использовался набор данных «Vibration analysis metrics of a ball bearing during different operational states», находящийся в свободном доступе на сайте Google datasetsearch. Маркированный набор данных предоставляет собой файл формата CSV и содержит показатели работы подшипника качения 6204. К ним отно-

сят характеристики вибрации: виброскорость (v -RMS), виброускорение (a -RMS), ударное виброускорение (a -Peak).

Целевая переменная – bearing state, характеризует работу подшипника в следующих режимах:

- 1) шарикоподшипник с уплотнением с рекомендуемым количеством смазки;
- 2) шарикоподшипник без уплотнения без смазки;
- 3) шарикоподшипник без уплотнения с избыточным количеством смазки.

В процессе исследования датасета был выполнен статистический анализ признаков для каждого значения целевого класса. Выявлены и удалены из обучающей выборки признаки с значительными отклонениями от среднестатистических показателей – выбросы (рис.2).

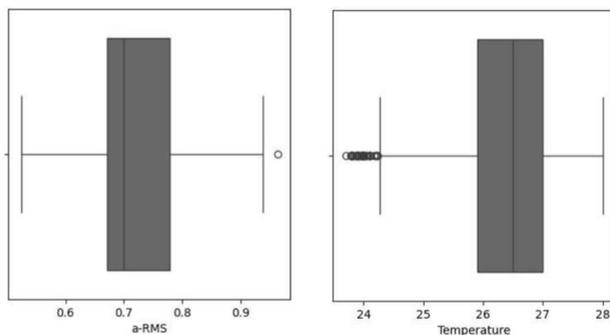


Рис. 2. Диаграммы рассеяния *Boxplot*

Был выявлен разброс в значениях признаков, характеризующих температуру и вибрационные показатели, отличающиеся в 5 раз между собой, что потребовало произвести нормализацию данных с помощью библиотеки *StandardScaler*.

Отнесение целевой переменной к одному из заранее определенных классов — это задача классификации, поэтому для ее решения были использованы следующие базовые алгоритмы [6]:

1. Метод *KNN*;
2. *RandomForestClassifier*;
3. Метод *SVM* - метод опорных векторов.

Метод *K*-ближайших соседей (*K-Nearest Neighbors*) основан на поиске кратчайшей дистанции между тестируемым объектом и ближай-

шими к нему классифицированным объектами из обучающего набора данных [7] (1):

$$a(u) = \operatorname{argmax}_{y \in Y} \sum_{i=1}^m [y(x_{i,u}) = y] * w(i, u), \quad (1)$$

где u – объект классификации, y – целевой класс, $w(i, u)$ – весовая функция оценивающая степень важности i -го соседа.

$$w(i, u) = [i \leq k], \quad (2)$$

где k – целочисленное значение, характеризующее количество соседей (2).

В методе KNN выбор значения k очень важен. При маленьком значении k "шум" будет оказывать сильное воздействие на итоговый результат. Большое значение делает его затратным с точки зрения вычислений и противоречит основной идее KNN, что близкие точки могут иметь схожие плотности или классы [8]. Значение по умолчанию для количества k -соседей - 5 ближайших соседей; Экспериментальным путем определено значение $K = 4$, при котором достигается минимальный процент ошибок модели.

В качестве метрики модели использовано расстояние Минковского [9] (3):

$$p(x, y) = (\sum_{i=2}^n |x_i - y_i|^p)^{\frac{1}{p}} \quad (3)$$

где x, y – точки пространства, параметр p принят равным 2.

Классифицируемый объект будет относиться к тому классу, к которому принадлежит ближайший объект набора. Определение наиболее влиятельных признаков на работу модели производилось с помощью дисперсионного анализа по методу Anova [10]. Точность классификации по методу KNN составила 98,6% и 98,1% на тренировочных и тестовых значениях соответственно.

RandomForestClassifier (RFC) - этот классификатор разбивает данные на всё меньшие и меньшие подмножества на основе разных критериев, т. е. у каждого подмножества своя сортирующая категория. С каждым разделением количество объектов определённого критерия уменьшается [11]. Классификация подойдёт к концу, когда сеть дойдёт до подмножества только с одним объектом (4):

$$a(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_i(X) \quad (4)$$

где $a(x)$ – классификатор, N – количество деревьев, i – счетчик деревьев, b – решающее дерево, x – выборка данных.

Критичным параметром для деревьев решений, влияющим на точность модели, является глубина обучения – `max_depth`. В рамках иссле-

дования параметр `max_depth` принят равным 15. Определение параметра производилось с помощью инструмента `GridSearch()` библиотеки `scikit-learn`. Анализ значимости признаков производился с помощью встроенного метода `feature_importances`.

Точность классификации по методу RFC составила 100% и 98,2% на тренировочных и тестовых значениях соответственно

SVM – принцип работы алгоритма построен на предположении, что чем больше расстояние (зазор) между разделяющей гиперплоскостью и объектами разделяемых классов, тем меньше будет средняя ошибка классификатора (5):

$$a(\vec{x}) = \text{sign}(\sum_{i=1}^c w_i X_i - b) \quad (5)$$

где \vec{x} – вектор значений признаков объекта, w_i, b – параметры гиперплоскости, c – константа.

С целью инициализации значимых признаков использован алгоритм Recursive feature elimination (RFE) – рекурсивный поиск и удаление признаков по значимости [11].

Точность классификации по методу SVM составила 97,1% и 97,3% на тренировочных и тестовых значениях соответственно

Результаты

Все три модели показали удовлетворительный результат обучения и могут быть применены в качестве практической модели классификации подшипников по состоянию их смазки:

1. Модель `RandomForestClassifier` показала наиболее высокие результаты классификации как на тестовых, так и на тренировочных данных. На тестовых данных ее ошибка не превышает 2%;

2. Наиболее значимым признаком для предсказания целевой переменной "Bearing State" у всех трех моделей оказался признак `V-rms` - показатель виброскорости (м/с).

Выводы

В рамках настоящей работы по разработке алгоритма диагностирования подшипников качения на предмет достаточного количества смазочных материалов в них, произведено исследование применения трех моделей классификации (метод ближайших соседей, случайный лес и метод опорных векторов). Выполнен анализ влияния признаков при работе каждой модели на предсказание целевой переменной.

В настоящее время, в промышленности все большее значение уделяется вопросам автономной диагностики технического состояния обо-

рудования. На основе результатов показаний датчиков вибрации и температуры, установленных на оборудовании, прогнозируются отказы оборудования и сроки ремонтов. Предлагаемая модель позволяет расширить возможности использования диагностических данных для решения задач оптимизации сервисного обслуживания оборудования. Что может быть обеспечено путем повышения качества выполнения операций по смазке оборудования, производя ее в достаточном количестве и в требуемое время.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Shen Zhang, Shibo Zhang, Bingnan Wang, Thomas G. Habetler.* Deep Learning Algorithms for Bearing Fault Diagnostics // IEEE Access. 2022. Vol. 8. P. 29857 – 29881.
2. *Исмаилов Р. Н., Гареев Р.Р., Ямалиев В. У.* Прогнозирование остаточного ресурса подшипника по уровню вибрации механизма // Экспозиция Нефть Газ. 2015. N3. С. 65 – 68.
3. *Антонов В. С., Верзин В. А.* Борьба с простоями как способ повышения экономической эффективности бизнеса [Электронный ресурс] // Экономика и жизнь: электрон. журн. 2021. №33. URL: <https://www.eg-online.ru/article/440363> (дата обращения: 16.04.2024).
4. *Щец С. П., Сакало В. И.* Влияние смазочного материала на процессы, протекающие в подшипниках качения // Транспортное машиностроение. 2016. N2. С. 31 – 35.
5. *Дрыночкин А. В., Алена Е. Э., Тришкин А. Г.* Анализ состояния российских предприятий подшипниковой подотрасли и смежных отраслей промышленности // Известия МГТУ «МАМИ». 2012. N2(14). С. 8 – 13.
6. *Бабаев А. М., Шемякина М. А., Ляшов М. В.* Обзор классических методов машинного обучения в контексте решения задач классификации // Форум молодых ученых. 2018. N11(27). С. 137 -142.
7. *Ульянов Н. В., Ахмедова Ш. А.* Введение в анализ данных // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2022. N2. С. 357 – 359.
8. *Yeray Mezquita, Ricardo S. Alonso, Roberto Casado-Vara, Javier Prieto & Juan Manuel Corchado.* A Review of k-NN Algorithm Based on Classical and Quantum Machine Learning // Distributed Computing and Artificial Intelligence, Special Sessions, 17th International Conference. 2020. P. 189 – 198.

9. Стрюков Р.К., Шашкин А.И. О модернизации метода ближайших соседей // Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии. 2015. N1. С. 114 – 120.

10. Аннаева М., Атанасова А. Однофакторный дисперсионный анализ: методы и применение в статистике // Всемирный ученый. 2023. N9(1). С. 267 – 271.

11. Борисов П. Д., Косолапов Ю.В. Способ оценки схожести программ методами машинного обучения // Труды Инст. сист. Прогр. РАН. 2022. N5(34). С. 63 – 75.

Криницин Павел Геннадьевич, аспирант, менеджер по надежности ООО «ИСО» филиал в г. Братск, 665729, Россия, город Братск, улица Советская 6, телефон +79501228427, email: alfa_reklama@mail.ru.

Ченцов Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования Сибирского федерального университета, 660074, Россия, город Красноярск, улица Киренского 26 корпус 1, телефон +7 (391) 291-22-35, email: schentsov@sfu-kras.ru.

Krinitzin Pavel Gennadievich, postgraduate student, reliability manager at LLC "ISO" branch in Bratsk, Russia, 665729, Bratsk city, Soviet Street 6, phone +79501228427, email: alfa_reklama@mail.ru.

Chentsov Sergey Vasilievich, Doctor of Technical Sciences, professor at the Department of Systems Automation, Automated Control and Design of Siberian Federal University, 660074, Russia, Krasnoyarsk city, Kirenskogo street 26, building 1, phone +7 (391) 291-22-35, email: schentsov@sfu-kras.ru.

УДК 681.883

Маркович Игорь Ильич

РАЗРАБОТКА МНОГОЛУЧЕВЫХ ГИДРОЛОКАТОРОВ В НКБ ЦОС ЮФУ

В статье рассматриваются алгоритмы цифровой пространственно-временной обработки сигналов в многолучевых гидролокаторах, предназначенных для мониторинга подводной обстановки и обнаружения потенциально опасных для навигации препятствий.

Многолучевой эхолот; впередсмотрящий лоцатор препятствий; цифровая пространственно-временная обработки сигналов.

Markovich Igor Ilyich

**DEVELOPMENT OF MULTIBEAM SONARS IN SFEDU
RESEARCH AND DESIGN BUREAU OF DIGITAL SIGNAL
PROCESSING**

The paper deals with algorithms of digital space-time signal processing in multibeam sonars, designed to monitor the underwater environment and detect obstacles, potentially hazardous to navigation.

Multibeam echo sounder; forward-looking obstacle locator; digital space-time signal processing.

Процесс управления положением главного лепестка ХН для пространственной фильтрации сигналов типа плоских волн, приходящих с определенного направления, в гидролокации называется процедурой формирования ХН. Для обнаружения, перепрограммировать основные режимы, параметры и многое другое.

В гидроакустических системах и комплексах различного назначения широкое распространение нашла цифровая обработка сигналов (ЦОС). Методы и алгоритмы ЦОС формируются на основе требований решения конкретных задач в гидроакустике. Они определяют алгоритмическое и программное обеспечение проектируемых систем, существенно влияют на принципы построения и аппаратную реализацию многоканальных гидроакустических систем различного назначения [1–7].

Многолучевые эхолоты (МЛЭ) являются эффективным гидроакустическим средством мониторинга подводной обстановки и обладают рядом преимуществ по сравнению с другими гидроакустическими средствами того же назначения. Эти преимущества включают принципиальную независимость метода пространственно-временной обработки сигналов от рельефа донной поверхности, возможность построения трехмерных изображений рельефа дна и изобат, пространственную селекцию в вертикальной траверсной плоскости, высокую производительность и многофункциональность (работа в режимах гидролокатора бокового обзора (ГБО) и промерного эхолота).

Применение современных методов и алгоритмов ЦОС в эхолотах, а также использование быстродействующих сигнальных процессоров и ПЛИС позволяет цифровыми методами формировать характеристики направленности (ХН) излучающих и приемных антенн, реализовывать сложные алгоритмы оптимальной обработки эхосигналов плоской акустической волны, приходящей с заданного направления, с использованием эквидистантной линейной антенной решетки, содержащей N_e элементов с шагом Δx , на фоне белого изотропного шума требуется компенсировать разность моментов прихода волнового фронта на каждый элемент решетки и затем сложить задержанные во времени сигналы.

На практике для обеспечения однозначности по пространственным частотам требуемого диапазона и точности углов компенсации выбираются параметры антенной решетки. Значение шага расположения элементов обычно принимается равным $\lambda_m/2$, где λ_m – минимальная длина волны в полосе пропускания системы.

Рассмотренный алгоритм, представляет собой наиболее простой метод, реализуемый во временной области. Его также часто называют «устройством с задержкой и суммированием». Однако при использовании большого количества акустических преобразователей и создании многих лучей такие алгоритмы для формирования ХН в заданной области требуют значительных аппаратных затрат.

В этих случаях чаще формируют ХН в частотной области с использованием эффективного алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). Суть таких методов заключается в том, что временные сдвиги сигналов от элементарных входных каналов заменяются эквивалентными изменениями их фазовых спектров в частотной области.

Известна схема одного из возможных алгоритмов формирования ХН в частотной области [1]. При реализации этого метода, полученные после аналого-цифрового преобразователя (АЦП) временные последовательности сигналов размером N_s от каждого из N_e акустических преобразователей последовательно подаются на вход блока БПФ.

В БПФ осуществляется преобразование временных реализаций сигналов в частотную область, с последующим их суммированием на каждой частоте с соответствующими фазовыми сдвигами и весовыми коэффициентами. Таким образом, формируется спектр сигнала для каждого направления. Дальнейшую обработку принятого сигнала проводят уже в частотной области. В случае необходимости получения сигнала во

временной области, выполняется обратное БПФ (ОБПФ). Для формирования каждого луча направленности требуется использование индивидуальности фазовых сдвигов и весовых коэффициентов, а также выполнение ОБПФ в каждом пространственном канале.

На рис. 1 и 2 приведены структурная схема алгоритма пространственно-временной ЦОС в МЛЭ, разработанном в НКБ ЦОС, и его внешний вид [2–4]. Для исследования этого алгоритма использовались следующие характеристики и параметры МЛЭ: несущая частота f_0 – от 120 до 160 кГц; максимальная полоса частот зондирующего сигнала (ЗС) $\Delta f_c=20$ кГц; длительность зондирующего сигнала (ЗС) (ТОН и ЛЧМ) T_c – от 0,1 до 20 мс; количество элементарных каналов $N_e=48$; сектор обзора $\pm 60^\circ$; ширина ХН сформированного луча в вертикальной плоскости в поперечном направлении (без ВО) – от $2,4^\circ$ до $4,6^\circ$ [5].

В рассматриваемом алгоритме ЦОС в МЛЭ цифровое формирование квадратурных составляющих (ЦФКС) эхосигналов осуществляется во временной области с использованием АЦП, комплексного умножителя на ± 1 или $\pm j$, двух ЦФНЧ с действительными коэффициентами и децимацией отсчетов для уменьшения частоты дискретизации до $F_{д1}$, близкой к ширине спектра ЗС [3, 7].

Далее выполняется процедура БПФ для каждого массива из N_s временных отсчетов комплексной огибающей (КО) каждого элементарного канала, дополненного нулями до N_{s0} отсчетов (кратное число 2^m). Результаты вычислений спектральных коэффициентов записываются в ОЗУ размером $N_{s0} * N_e$.

На следующем этапе обработки, с целью уменьшения уровня боковых лепестков (УБЛ) в ХН, производится операция весовой обработки (ВО) над одноименными спектральными отсчетами сигналов элементарных каналов. Далее массивы, содержащие одноименные спектральные отсчеты сигналов элементарных каналов, дополняются нулями до N_{e0} , (кратное число 2^m) и выполняется процедура БПФ для каждого сформированного массива. Затем СФ и ВО в частотной области для уменьшения УБЛ временных сигналов каждого луча, ОБПФ для преобразования спектров сигналов лучей во временную форму и вычисление модулей (ВМ) огибающих сигналов.

Эксперименты проводились в Цемесской бухте Черного моря на малом гидрографическом катере. Результаты испытаний представлены ниже [5,6].

Испытания МЛЭ включали съем участков дна с различными глубинами. В рамках испытаний был осуществлен поиск затонувшего в 1986 году судна «Адмирал Нахимов».

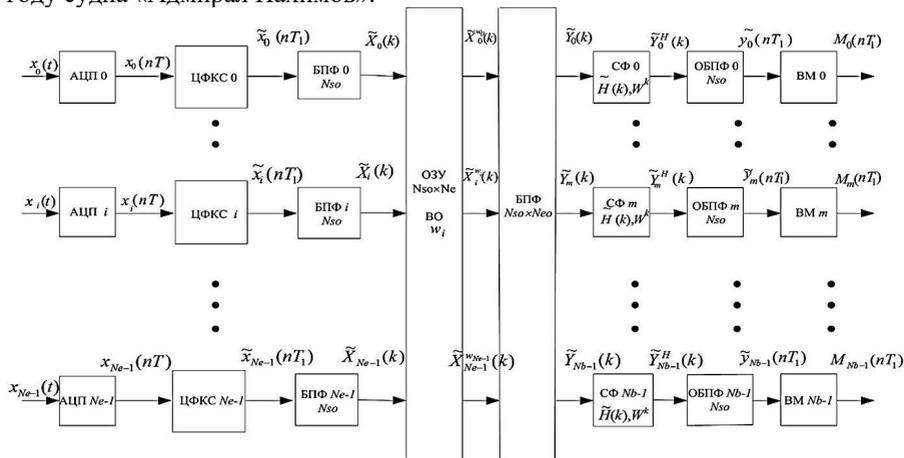


Рис. 1. Структурная схема алгоритма пространственно-временной ЦОС в МЛЭ



Рис. 2. МЛЭ и его составные части

На рис. 3 и 4 приведено 3D и 2D гидролокационное изображение затонувшего теплохода «Адмирал Нахимов», полученное в эхолоте, работающем, соответственно, в режимах МЛЭ и ГБО.

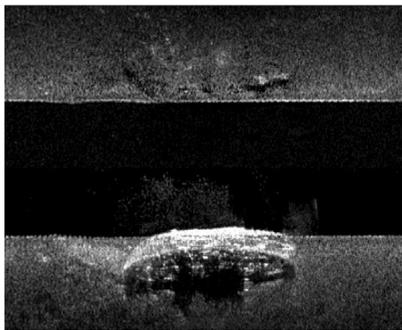
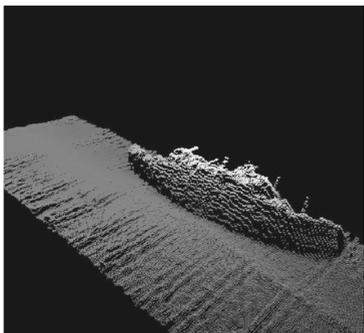


Рис. 3 и 4 – Гидролокационное изображение затонувшего теплохода «Адмирал Нахимов», полученное в режимах МЛЭ и ГБО

На рис. 5 показано гидролокационное изображение затонувшего в Цемесской бухте линейного корабля «Свободная Россия», а на рис. 6 – эхограмма затонувшего в годы Великой Отечественной войны самолета Douglas «Boston» А-20, полученная при работе МЛЭ в режиме ГБО на акватории Черного моря вблизи города Геленджик.

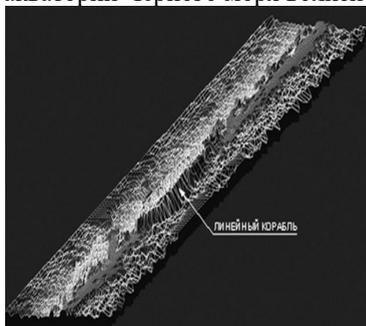


Рис. 5 и 6. Объемное изображение затонувшего линейного корабля «Свободная Россия» и двумерное изображение затонувшего самолета

Эффективное применение цифровых методов и алгоритмов в гидролокации включает использование их в локахторах препятствий (ЛП) и гидролокаторах секторного обзора (ГСО). Эти локахторы предназначены для обзора подводной обстановки перед движущимся подводным аппаратом и обнаружения потенциально опасных препятствий для навигации [4,5].

Принцип работы ЛП аналогичен принципу в МЛЭ. Он включает формирование цифровыми методами простых и сложных ЗС в излучающем тракте, а также статического веера ХН в приемном тракте. Это обеспечивает оперативный обзор подводной обстановки в процессе движения носителя. ЛП должен обладать достаточной дальностью обнаружения и необходимым сектором обзора для маневрирования при обнаружении препятствий.

При исследовании алгоритмов ЦОС в ЛП, созданном в НКБ ЦОС ЮФУ, использовались ЗС со следующими параметрами:

- несущая частота f_0 : 150–200 кГц;
- длительность ЗС T_c : 0,2–8 мс;
- полоса частот ЗС $\Delta f_c=10$ кГц;
- количество элементарных каналов $N_c=48$;
- сектор обзора в горизонтальной плоскости: 12° ;
- сектор обзора в вертикальной плоскости: 60° ;
- количество лучей статического веера приемной антенны: 24;
- ширина ХН сформированных лучей в ВП: $2,4^\circ$ – $4,6^\circ$.

Указанные ЗС позволяют заменить задержку сигналов во времени сдвигом фазы колебания с центральной частотой, что упрощает обработку во временной области на ПЛИС [4,5].

Алгоритм пространственно-временной ЦОС, адаптированный для реализации на ПЛИС, представлен на рис. 7.

В соответствии со структурной схемой алгоритма в течение времени приема в АЦП выполняется преобразование входного эхосигнала каждого элементарного канала в цифровую форму.

После преобразования в АЦП сигнал поступает на вход ЦФКС, где выходные отсчеты каждого i -го канала входной последовательности размером N_s умножаются на значения комплексной экспоненты. Для подавления инверсной части спектра сигнала и помеховых составляющих, лежащих вне полосы частот сигнала, используются два одинаковых ЦФНЧ с действительными коэффициентами импульсной характеристики и линейными фазочастотными характеристиками.

Коэффициент децимации определяется девиацией частоты излучаемого ЛЧМ сигнала. Затем сформированные отсчеты КО эхосигнала поступают на вход согласованного фильтра (СФ).

Для снижения УБЛ отклика СФ при использовании ЛЧМ сигнала выполняется операция ВО в частотной области, реализуемая с помощью

свертки выходного сигнала СФ с импульсной характеристикой дополнительно введенного цифрового фильтра (ЦФ).

Метод частотных выборок является одним из способов синтеза требуемого цифрового фильтра, что позволяет проектировать нерекурсивные КИХ-фильтры с произвольной частотной характеристикой.

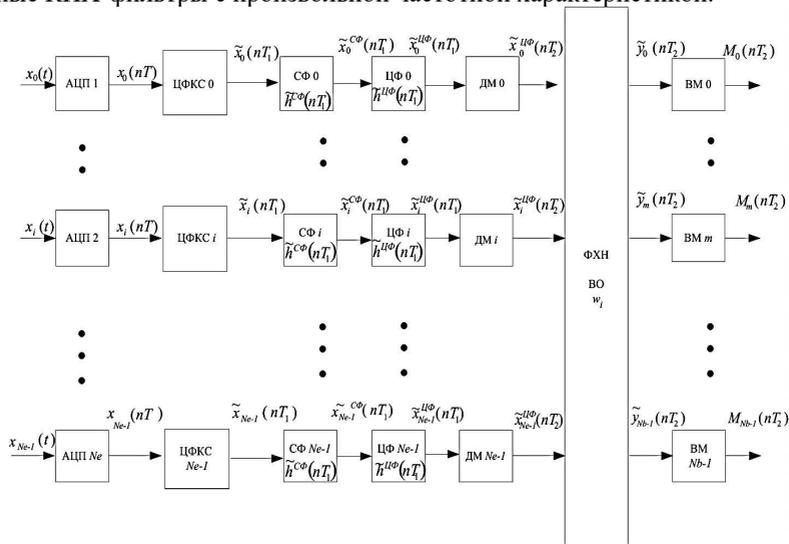


Рис. 7. Структурная схема алгоритма пространственно-временной ЦОС в ЛПТ

Формирователь ХН (ФХН) реализованный во временной области фазовым методом содержит умножитель на комплексные коэффициенты и сумматор. На рис.8 представлен внешний вид созданного ЛПТ и его блока электроники.



Рис. 8. ЛПТ и блок электроники

Важнейшим компонентом в составе морских подводных аппаратов различного назначения является впередсмотрящий многолучевой гидролокатор (МЛГ), назначение которого заключается в мониторинге подводной обстановки в направлении движения аппарата и обнаружении потенциально опасных для навигации, движущихся объектов.

В этом случае, в МЛГ передающий тракт формирует и излучает периодическую последовательность ЗС ЛЧМ с череспериодной сменой знака девиации частоты [8]. После предварительной обработки сигнал поступает в приемный тракт, где по результатам ЦОС двух соседних эхосигналов определяется уточненная дистанция до цели, а также информация о ее радиальной скорости и направлении движения [9].

Расчеты показывают, что в достаточно широком диапазоне параметров ЗС работа с движущимися целями приводит к уменьшению отношения сигнал-шум (ОСШ) на несколько децибел и ухудшению разрешения по дальности на десятки процентов, что следует считать существенным недостатком.

Практической ценностью применения следующего этапа модернизации МЛГ при работе с движущимися целями является повышение ОСШ и разрешения гидролокатора по дальности. Данное устройство имеет многоканальный вход, содержит подобные каналы обработки, выходы которых соединены с соответствующими входами введенного блока выбора объекта каждого пространственного канала для получения информации о его скорости, а выход введенного блока соединен со вторыми входами ЦФКС для компенсации доплеровского сдвига частоты выбранного принятого сигнала [10].

После компенсации доплеровского сдвига частоты в принятом эхосигнале центр спектра принятого сигнала выбранной цели находится точно на нулевой частоте и не имеет доплеровского смещения частоты. Благодаря этому обеспечивается повышение ОСШ и разрешения по дальности МЛГ [10].

Алгоритмы при работе с движущимися целями для МЛГ с повышенной точностью измерения дальности, определением скорости и направления движения цели подробно описаны в патенте [8], а для МЛГ с повышенным ОСШ и разрешением по дальности – в патенте [10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Найт У. С., Придэм Р.Г., Кэй С.М.* Цифровая обработка сигналов в гидролокационных системах // ТИИЭР. – 1981. – Т. 69. – № 11. – С. 84–155.
2. *Маркович И. И.* Цифровая обработка сигналов в системах и устройствах: монография. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. – 236 с.
3. *Маркович И. И.* Цифровая пространственно-временная обработка сигналов в гидроакустических системах и комплексах. Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. – М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. – С. 366–373.
4. *Маркович И. И.* Методы и алгоритмы цифровой пространственно-временной обработки гидроакустических сигналов в многолучевых эхолотах и локаторах препятствий // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – СПб: Наука, 2014. – Т. 7. – № 2. – С. 58–71.
5. *Маркович И. И., Душенин Ю.В.* Применение многолучевых гидроакустических средств с цифровой пространственно-временной обработкой для экологического мониторинга водных районов // Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2015 – № 12. – С. 85–98.
6. *Маркович И. И., Душенин Ю.В.* Применение поисковых многолучевых гидроакустических средств с цифровой пространственно-временной обработкой сигналов в амфибийной авиации // Сборник докладов X Международной научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2014». – М.: ЦАГИ, 2014. – Ч. II. – С. 231–237.
7. *Маркович И. И.* Реализация алгоритмов цифрового формирования квадратурных составляющих в локационных комплексах различного назначения // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2006. – № 6. – С. 16–21.
8. Патент 2699938 РФ, МПК G01S 15/00 (2006.01). Впередсмотрящий гидролокатор глубоководного носителя / И.И. Маркович И.И., Колган В.В.– Заявка № 2019101013 от 10.01.2019. Оpubл. 11.09.2019. Бюл. № 26.
9. *Маркович И.И.* Цифровая пространственно-временная обработка сигналов в многолучевом гидролокаторе морского подводного робототехнического комплекса // «Известия ЮФУ. Технические науки», 2019. – №1(203).– С.239–248.
10. Патент 2802295 РФ, МПК G01S 15/00 (2006.01). Впередсмотрящий гидролокатор с повышенным разрешением по дальности / Маркович И.И., Завтур Е.Е., Марьев А.А. Заявка №2023107356 от 27.03.23. Оpubл.24.08.2023. Бюл. № 24.

Игорь Ильич Маркович, к.т.н, с.н.с., директор-главный конструктор научно-конструкторского бюро цифровой обработки сигналов Южного федерального университета, Россия, г. Таганрог, ул. Шевченко 2, 347922. Тел.+79289008255, e-mail: marko@sfedu.ru.

Igor Ilych Markovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Research Scientist, Director-Chief Developer, Research and Design Bureau of Digital Signal Processing of the Southern Federal University. 2 Shevchenko St., Taganrog, 347922, Russia, phone: +79289008255, e-mail: marko@sfedu.ru.

УДК621.396:654.1

Попова Татьяна Сергеевна, Черников Дмитрий Юрьевич,
Радыгин Руслан Евгеньевич

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ ПАКЕТНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

В работе рассматривается переход беспроводных сетей на IP-протокол и влияние этого процесса на развитие сетей нового поколения (NGN). Оценивается производительность пакетных беспроводных сетей различного масштаба и назначения с использованием программы Iperf3 для измерения пропускной способности. В частности, исследуются спутниковые каналы связи с использованием геостационарных спутников и радиоканалы Wi-Fi. Анализируются спектральные характеристики сигналов и зависимость информационной скорости передачи данных от времени. Рассматриваются тенденции повышения эффективности систем связи, включая использование многочастотных сверхширокополосных (СШП) систем.

Popova T.S., Radygin R.E., Chernikov D.Y.

PERFORMANCE EVALUATION OF DIFFERENT WIRELESS PACKET COMMUNICATION NETWORKS

The paper discusses the transition of wireless networks to IP protocol and the impact of this process on the development of next generation networks (NGN). The performance of packet wireless networks of different scales and purposes is evaluated using the Iperf3 program to measure throughput. In particular, satellite links using geostationary satellites and Wi-Fi radio links are investigated. The spectral

characteristics of signals and the time dependence of the information rate of data transmission are analyzed. Trends in improving the efficiency of communication systems, including the use of multi-frequency ultra-wideband (UWB) systems, are discussed.

Принятие принципов пакетной коммутации и массовый переход беспроводных сетей связи на IP-протокол [1-2] ознаменовали наступление эпохи сетей нового поколения NGN (Next Generation Network), которые являются более эффективным инструментом доставки мультисервисной информации до потребителя.

В этой связи в данной работе получены оценки производительности пакетных беспроводных сетей различного назначения и масштаба, в режимах, характерных для практически интересных ситуаций.

Для измерений использовалась Iperf3[3] - кроссплатформенная консольная клиент-серверная программа — генератор TCP и UDP трафика для тестирования пропускной способности сети. С ее помощью довольно просто измерить максимальную пропускную способность сети между сервером и клиентом и провести нагрузочное тестирование канала связи [5-7].

Для выполнения тестирования программа должна быть запущена на двух устройствах (это могут быть как компьютеры, так и смартфоны, планшеты). Одно из них будет выполнять роль сервера, а другое - роль клиента. Между ними и будет происходить передача данных для измерения пропускной способности соединения.

В случае спутникового канала клиент и измерительный сервер размещались на различных сторонах космического канала связи, организованного через геостационарный спутник [8-9]. Исследуемый ресурс представлял собой дуплексный симметричный канал связи с частотным разделением и возможностью одновременного изменения используемой полосы частот в каждом из направлений.

Спектр сигналов, используемых для организации связи в спутниковом канале представлен на рис.1.



Рис. 1. Спектр сигналов в спутниковом канале

Для оценки производительности пакетной мультисервисной сети служебной радиосвязи клиентское оборудование располагалось в зоне радиопокрытия базовой станции, для которой производились измерения [10]. Измерительный сервер соединялся с сетью с помощью проводных коммуникаций, которые обеспечивали значительно более высокую скорость передачи данных [11].

Спектр сигналов, используемых для организации связи в канале служебной радиосвязи представлен на рис. 2.



Рис. 2. Спектры сигналов в канале служебной радиосвязи

Спектральные параметры сигналов, используемых для передачи информации в беспроводной сети, можно надежно контролировать по характеру кривых, которые формирует анализатор спектра (рис. 1). Так

спектральные характеристики сигналов в радиоканале *Wi-Fi*, сформированные в ходе проведения измерений, имеют вид, представленный на рис.3 [4].

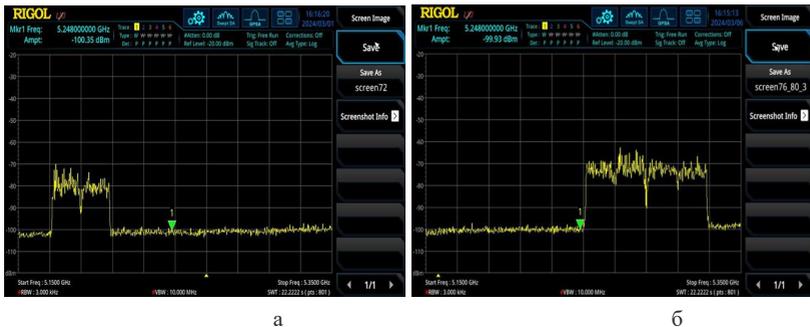


Рис. 3. Спектральные характеристики сигналов в радиоканале сети *Wi-Fi*. а) спектр сигнала с полосой в 40 МГц б) спектр сигнала с полосой в 80 МГц

Зависимость информационной скорости передачи данных от времени в спутниковом канале представлена на рис. 4.

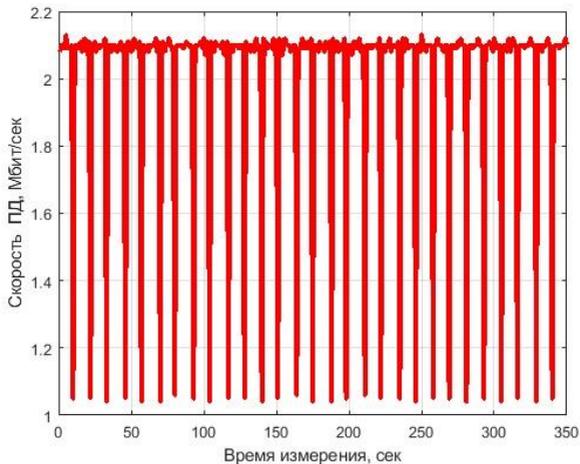
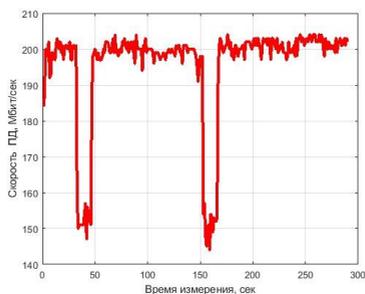
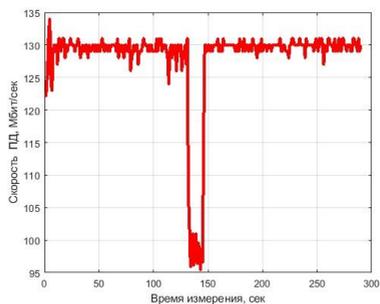


Рис. 4. Информационная скорость передачи данных в спутниковом канале

Информационная скорость передачи данных в радиоканале сети *Wi-Fi* представлена на рис. 5.



а

б

Рис. 5. Информационная скорость передачи данных в радиоканале сети Wi-Fi.

а) с полосой в 40 МГц б) с полосой в 80 МГц

В условиях перезагрузки радиочастотного спектра (РЧС) создаются новые системы связи, призванные решить данную проблему, внедряются решения, повышающие эффективность использования РЧС выделенного как для старых, так и для новых систем. Создание новых спектрально эффективных систем производится параллельно с государственным реформированием системы управления использованием радиочастотного спектра, преследующим те же цели. На сегодняшний день тенденцией повышения эффективности систем связи является комбинирование технологий радиодоступа. Одним из решений являются многочастотные сверхширокополосные (СШП) системы связи. Применение СШП систем делает возможным совместное использование выделенной полосы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Альшаев И.А., Лаврухин В.А.* О проектировании и оптимизации сетей *Wi-Fi*// Информационные технологии и телекоммуникации, 2016, Том 4, № 1 с.87-95
2. *Забродин А.Н., Войцеховский В.Н., Черников Д.Ю.* Особенности измерения параметров мультисервисной сети связи на основе технологии *Wi-Fi*. В сборнике: Фундаментальные основы, теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики. Материалы 19-ой Международной молодежной научно-практической конференции. 2018. С. 287-292
3. *Зеленков Н.С., Черников Д.Ю.* Indoor-навигация с использованием сетей *Wi-Fi*. В сборнике: Современные проблемы радиоэлектроники. Материалы XXII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 125-й годовщине Дня радио. Сибирский федеральный университет. 2020. С. 301-305.
4. *Рева И.Л., Богданов А.А., Малахова Е.А.* Применение точек доступа *Wi-Fi* для регистрации движения объектов / Научный вестник НГТУ том 68, № 3, 2017 г.
5. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.signal_monitoring_wifimonitoring
6. <https://russia-huawei.ru/huawei-ar611w/>
7. <https://iperf.fr/iperf-download.php>
8. *Шорин А.О., Девлишов А.Г., Туров А.В., Черников Д.Ю.* Использование технологии космической ретрансляции внутрисистемных каналов связи в задачах организации абонентского радиодоступа. - Научный журнал «Исследования наукограда», №3-4(18), 2016, стр. 39-44. - ISSN 2225-
9. *Девлишов А.Г., Туров А.В., Черников Д.Ю.* О возможности использования технологии радиодоступа для организации «последней мили» космических систем связи. - Сб. труд. III Всероссийской научно-технической конференции «Системы связи и радионавигации». Красноярск, 2016 г. с.50-54.
10. *Черников Д.Ю., Войцеховский В.Н.* Эмпирическая оценка статистических характеристик задержки в сети широкополосного радиодоступа MCWILL. - СПб НТО РЭС: труды ежегодной НТК. 2019. № 1 (74). С. 97-100.
11. *Синиборов И.Ю., Туров А.В., Черников Д.Ю.* Практика измерений скорости передачи данных для мультисервисных систем служебной радиосвязи. В книге: Системы связи и радионавигации. V Всероссийская научно-техническая конференция. 2018. С. 71-74.

Попова Татьяна Сергеевна, студент, 2 курс, бакалавриат. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», Институт инженерной физики и радиоэлектроники, Россия, город Красноярск, улица Киренского 28, 660074, телефон: 8 (391) 291-29-67, email: dir_efir@sfu-kras.ru.

Черников Дмитрий Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий базовой кафедрой Инфокоммуникаций. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», Институт инженерной физики и радиоэлектроники, Россия, город Красноярск, улица Киренского 28, 660074, телефон: 8 (391) 291-29-67, email: dir_efir@sfu-kras.ru.

Радыгин Руслан Евгеньевич, студент, 2 курс, бакалавриат. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», Институт инженерной физики и радиоэлектроники, Россия, город Красноярск, улица Киренского 28, 660074, телефон: 8 (391) 291-29-67, email: dir_efir@sfu-kras.ru.

УДК 658.512.2

Орехов Вячеслав Валентинович, Александрова Анастасия Сергеевна,
Жаров Алексей Олегович, Коломиец Екатерина Дмитриевна,
Москаленко Анна Сергеевна

ДИЗАЙН КОРПУСА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В данной работе представлена разработка дизайна и технология изготовления корпуса для робототехнической платформы. Представлен процесс проектирования и моделирования.

Описан процесс разработки дизайна и изготовления оригинального макета. Уникальность, удобство, технологичность изготовления и практичность прототипа для дальнейшей проработки.

Промышленный дизайн, технология изготовления, робототехническая платформа, носитель бренда, эстетика.

Orekhov Vyacheslav, Alexandrova Anastasia, Zharov Alexey,
Kolomiets Ekaterina, Moskalenko Anna

HOUSING DESIGN FOR A ROBOTIC PLATFORM

This paper presents the development of the design and manufacturing technology of a housing for a robotic platform. The design and modeling process is presented. The process of designing and manufacturing the original layout is described. Uniqueness, convenience, manufacturability and practicality of the prototype for further study.

Industrial design, manufacturing technology, robotic platform, brand carrier, aesthetics.

Введение. Сегодня тема роботов и роботизированных комплексов для нужд человека актуальна как никогда. Множество отраслей и областей нашей жизни использует в качестве помощников роботизированные системы того или иного уровня сложности [1, 2]. В большинстве случаев роботы приходят на выручку человеку, там куда доступ для людей невозможен или это связано с определенным риском для жизни и здоровья. В качестве заказчика выступило студенческое конструкторское бюро МАРС (мобильная автономная робототехническая система), разработавшее конструкцию робототехнической платформы для БПЛА. Была поставлена задача создать дизайн корпуса для робототехнической платформы и сделать макет прототипа. Для робота нужен корпус, что должно улучшить эксплуатационные функции, защитные функции самой платформы, эстетику платформы. Работа включала в себя ряд этапов: аналитический отчет; визуальный поиск формы на основе референтных образов (скетч, 3д модель, макет); 2d–3d модели будущего прототипа изделия; сборка реальной оболочки на платформе из материалов (картон, пено-картон, рекламный пластик, стеклоткань). У разработки заказчиков не представлены полные аналоги в открытом доступе, поэтому предлагается рассматривать других подобных роботов

Основная часть. В работе раскрывается процесс разработки корпуса-оболочки для роботизированной платформы. В основе робота лежит платформа на 4 ведущих колесах (рис. 1), при этом имея габаритные размеры 750 x 312 x h 300 мм.



Рис. 1. Общий вид платформы

Для ориентации в пространстве робот имеет наружную камеру, лидар и систему кругового обзора посредством парковочных датчиков по бокам. На фронтальной части размещены 2 прожектора головного света. На верхней площадке размещены блок беспроводной зарядки квадрокоптера. Проектом предусмотрена универсальная платформа под различные полезные модули.

Перед началом разработки внешней оболочки робота, был получен ряд входящих данных: габаритные размеры, назначение, характерные области применения робота и ряд ограничений и условий эксплуатации. На основе технического задания был подобран референтный ряд. По которому в основу будущего корпуса положены граненые поверхности (рис. 2)

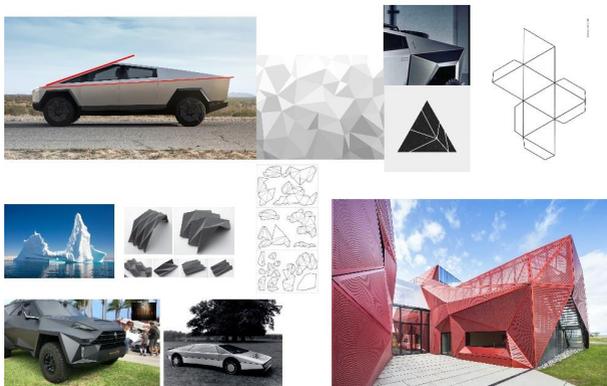


Рис. 2. Набор референтных изображений

Работа начинается с эскизной проработки на основе габаритной сетки и размещения элементов робота. Кроме этого, в результате получаем набор эскизов необходимых для принятия решения о стилистике будущего изделия (рис. 3)

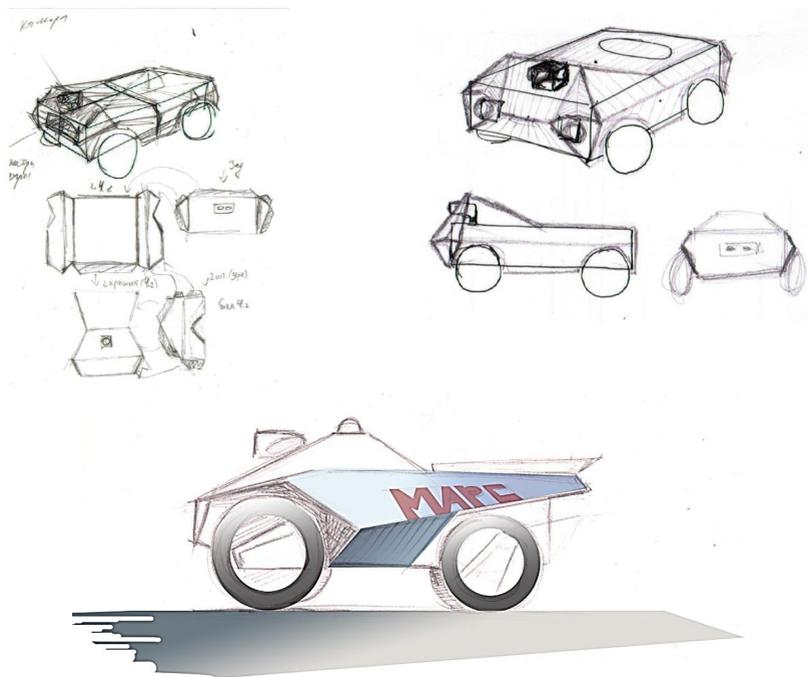


Рис. 3. Эскизный поиск формы

В процессе согласования, и компромисса между эстетикой и внутренним содержанием был проработан один из вариантов. Этот вариант объемного решения корпуса учитывает все требования технического задания (рис. 4).

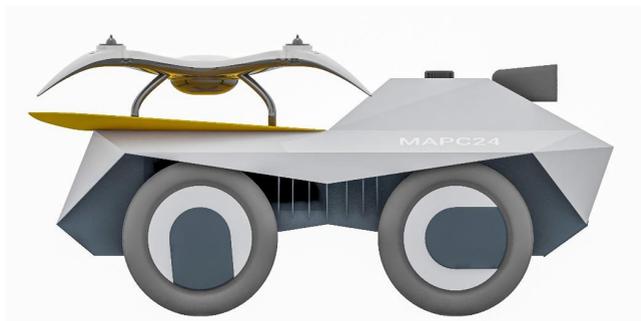


Рис. 4. Модель корпуса

Корпус-оболочка несет не только эстетическую нагрузку, но и практическую, предотвращая попадание лишних предметов и пыли во внутреннюю часть робота. Кроме вышперечисленных задач, корпус играет роль носителя бренда – корпоративной идентичности. На корпусе размещается визуальная информация об организации разработчике и в целом корпус может быть окрашен в корпоративные цвета или же при необходимости для определенных задач применяется специальная камуфлирующая окраска. Колеса-моторы так же учувствуют в общем решении, для них предусмотрены декоративные колпаки.

Итоговое решение обводов корпуса, продиктовано современными тенденциями транспортного дизайна и эргономики [3–5]. Материалом для корпуса прототипа стал пено-картон, глянецовое покрытие которого может быть заменено, на более практичное – матовое. Для дальнейшей эксплуатации платформы рассматривается в качестве материала корпуса алюминий [6–10].

Следующий этап разработки – создание 3d модели или цифрового прототипа. Разнообразие программных продуктов 2d и 3d графики позволяет воплощать самые разнообразные идеи. Для начала работы необходимо создать чертежи и схемы в 2d пространстве. Выверенные чертежи экспортируются в универсальный формат для последующей обработки в 3d пространстве. Одним из таких форматов является DWG. Примером пакета для 3-х мерного моделирования может стать 3Ds Max. Этот программный пакет наряду с другими методами позволяет создавать модели методом High-Poly (высоко полигонального) моделирования (рис.5).

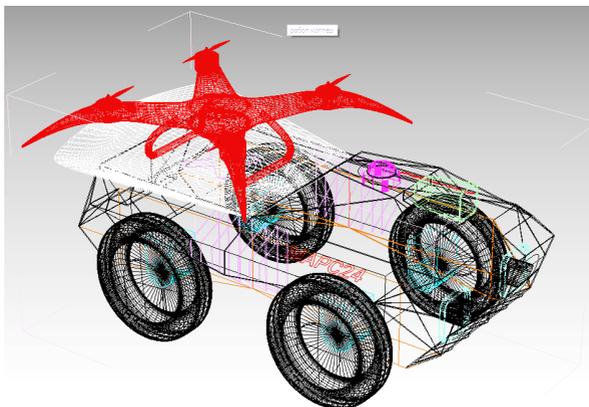


Рис. 5. Полигональная 3d- модель

Для того, чтобы сетка модели не имела ошибок, необходимо, чтобы полигоны были малого размера, а поверхность объекта состояла из маленьких плоскостей.

Для создания реалистичной и достоверной модели корпуса в программе 3Ds Max, используются планы, разрезы и сечения будущего корпуса. Стандартная схема High-Poly моделирования происходит с постепенным наращиванием уровня детализации 3d объекта:

- первый уровень является базовым, и представляет собой общую форму объекта;
- на втором уровне происходит уточнение базовой формы, обычно, путём добавления фасок;
- третий уровень завершающий, на нем производится четкая детализация объекта, обычно, путем применения плагинов сглаживания.

Для получения финальной визуализации модели робототехнической платформы, необходимо провести работу по настройке материалов и освещения 3D-сцены (рис.6).



Рис. 6. Визуализация модели

Выводы: сейчас у заказчика идут испытания прототипа, корпус нужен для испытаний – недорогой быстро созданный прототип. После отработки всех моментов будет разработан корпус с учётом всех нюансов и технологий серийного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Состав и характеристики мобильных роботов: учеб, пособие по курсу «Управление роботами и робототехническими комплексами». / К. Ю. Машков, В. И. Рубцов, И. В. Рубцов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 75 с.
2. Создание роботов в домашних условиях / Брага Ньютон; пер. с англ. Е. А. Добролежина. - М. : НТ Пресс, 2007. - 368 с. URL: <https://ardexpert.ru/article/6227> (дата обращения: 15.04.2024).
3. Аббасов И.Б., Орехов В.В. Концептуальное моделирование самолетов-амфибий. Глава 2 в книге «Компьютерное моделирование в авиакосмической промышленности»/ под ред. И.Б. Аббасова. – М: ДМК Пресс, 2020. – С. 35–166.
4. Орехов В.В. Концептуальный дизайн многофункционального самолета-амфибии. Глава 4 в книге «Компьютерное моделирование в авиакосмической промышленности»/ под ред. И.Б. Аббасова. – М: ДМК Пресс, 2020. – С. 193–211.
5. Калашикова Т.Г. Проектный интенсив: Концептуальный дизайн многофункционального самолета амфибии// Компьютерные и информационные

технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2021. – С. 340–346.

6. Конструкцию фюзеляжа самолета. URL: <https://allrefrs.ru/3-10497.html> (дата обращения: 15.01.2024).

7. Алюминиевый каркас для кемпера. URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5f1192dfe43dc80aa463afe4/aliuminievyi> (дата обращения: 15.04.2024).

8. Физические и химические свойства алюминия: URL: <https://stankiexpert.ru/spravochnik/materialovedenie/svoystvaaluminiuma.html> (дата обращения: 15.04.2024).

9. Прочность алюминия при низких температурах. Конструкционный материал для низких температур. URL: <https://aluminiumguide.com/prochnost-aluminiuma-pri-nizkix-temperaturah/> (дата обращения: 15.01.2024).

10. Авиационный алюминий. Производство и область применения. URL: <https://1nerudnyi.ru/aviatsionnyj-aluminium-01/> (дата обращения: 15.01.2024).

Орехов Вячеслав Валентинович, старший преподаватель кафедры ИГиКД. Южный федеральный университет. Город Таганрог, ул. Чехова 22 б. +7 988 583 20 49, Orechovvv@sfedu.ru.

Александрова Анастасия, Жаров Алексей, Коломиец Екатерина, Москаленко Анна, студенты направления 29.03.04 ТХОМ кафедры инженерной графики и компьютерного дизайна ИРТСУ ЮФУ, Россия, г. Таганрог, ул. Чехова, 22, корп. «Б», 347900, телефон: +7 (8634) 37-17-94.

Vyacheslav V. Orekhov, senior lecturer of the IGiKD Department. Southern Federal University. The city of Taganrog, Chekhov str. 22 b. +7 988 583 20 49 , Orechovvv@sfedu.ru.

Alexandrova Anastasia, Zharov Alexey, Kolomiets Ekaterina, Moskalenko Anna, students of the direction 03.29.04 THOM Department of Engineering Graphics and Computer Design Institute of Radio Engineering Systems and Control, Southern Federal University, Russia, Taganrog, 22 Chekhov street, 22, building «B», 347900, phone: +7 (8634) 37-17-94.

Научное издание

**Компьютерные и информационные технологии в науке,
инженерии и управлении**

«КомТех-2024»

Том 1

Материалы Всероссийской научно-технической конференции с
международным участием

Отв. за выпуск Клевцов С.И.

Оригинал-макет подготовила Замай Н.А.

Подписано в печать 30.09.2024 г.

Бумага офсетная. Формат 60×84 ¹/₁₆. Усл. печ. лист. 23,48.

Уч.-изд. л. 17,23. Тираж 20 экз. Заказ № 9657.

Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции
Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ.
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел (863) 243-41-66.