

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

## **Информационные технологии и системы 2024 (ИТС 2024)**

Материалы международной научной конференции  
(Республика Беларусь, Минск, 20 ноября 2024)

## **Information Technologies and Systems 2024 (ITS 2024)**

Proceeding of the International Conference  
(Republic of Belarus, Minsk, 20<sup>th</sup> November 2024)

УДК 004  
ББК 32.81  
И74

Редакционная коллегия:

Л. Ю. Шилин (главный редактор),  
Т. Н. Беляцкая, А. А. Иванюк, С. В. Колосов, В. С. Муха, В. В. Голенков,  
А. В. Марков, Д. П. Кукин, А. А. Навроцкий, В. И. Журавлев,  
Д. В. Шункевич, А. Ф. Трофимович, Н. В. Гракова,  
М. В. Ковалёв (ответственный секретарь)

**Информационные** технологии и системы 2024 (ИТС 2024) =  
И74 Information Technologies and Systems 2024 (ITS 2024) : материалы междунар.  
науч. конф., Минск, 20 нояб. / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР,  
2024. – 240 с.  
ISBN 978-985-543-734-6

Материалы международной научной конференции включают прошедшие рецензирование статьи международной научной конференции «Информационные технологии и системы 2024» (ИТС 2024).

Материалы конференции предназначены для преподавателей высших учебных заведений, научных сотрудников, студентов, аспирантов, магистрантов, а также для специалистов предприятий в сфере IT-технологий.

Материалы конференции одобрены организационным комитетом и публикуются в авторской редакции.

УДК 004  
ББК 32.973.202

ISBN 978-985-543-734-6

©«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2024

# ПРЕДИСЛОВИЕ

20 ноября 2024 года в городе Минске прошла международная научная конференция «Информационные технологии и системы» (ИТС 2024, организованная факультетом информационных технологий и управления учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», базовой организации государств-участников СНГ по высшему образованию в области информатики и радиоэлектроники.

В течение дня на пленарном и шести секционных заседаниях было представлено 106 докладов по следующим направлениям:

## **Секция «Системы управления»:**

- моделирование систем управления;
- автоматизированные исследования систем управления;
- проектирование систем управления;
- микропроцессорные системы управления;
- информационные технологии в системах управления;
- системы передачи и защиты дискретной информации;
- системы телемеханики;
- элементы и устройства систем управления..

## **Секция «Интеллектуальные информационные технологии»:**

- проектирование баз знаний;
- интеллектуальный поиск информации;
- интеллектуальные решатели задач;
- пользовательские интерфейсы интеллектуальных систем.

## **Секция «Автоматизированные системы обработки информации»:**

- математические модели и методы обработки информации: статистические, численные, логические, графовые, нейросетевые и другие;
- анализ многомерных данных;
- методологические проблемы и технологии подготовки специалистов в области систем обработки информации;
- технологии и стандарты программирования и проектирования систем обработки информации;
- системы и средства совместной работы пользователей;
- защита информации в автоматизированных системах обработки информации.

## **Секция «Проектирование встраиваемых систем»:**

- проектирование и быстрое прототипирование встраиваемых систем на ПЛИС;
- методологии проектирования IP-компонент встраиваемых систем;
- программная и аппаратная защита IP-компонент;
- контролепригодное проектирование и тестирование встраиваемых систем;
- реконфигурируемые встраиваемые системы.

### **Секция «Математическое моделирование и компьютерная графика»:**

- методы решения уравнений математической физики;
- методы нелинейной оптимизации;
- модели и методы тепло и массопереноса;
- математические модели и методы компьютерной графики;
- аппаратное обеспечение компьютерной графики;
- алгоритмы и методы интерактивных программных продуктов.

### **Секция «Технологии цифровой экономики»:**

- технологии цифрового маркетинга;
- бизнес-аналитика и экономика данных;
- информационные системы принятия решений, планирования, учёта и контроля.

В работе конференции приняли участие учёные и специалисты Республики Беларусь, Российской Федерации, Китая, Мьянмы и Туркменистана.

Докладчики представляли такие высшие учебные заведения как: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Белорусский государственный университет, Белорусский государственный технологический университет, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Белорусский национальный технический университет, Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, Брестский государственный технический университет, УО "Национальный детский технопарк", Военная академия Республики Беларусь, Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики (Пермский филиал), Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого.

Кроме того, в работе конференции приняли участие представители таких организаций как ООО «ИнноТех Солюшнс», АТЕК, Учреждение здравоохранения «6-я городская клиническая больница».

Оргкомитет благодарит всех, кто счел возможным поделиться результатами своей деятельности и принял участие в работе конференции.

## ORGANISING COMMITTEE

Prof.Dr.	<b>Vadim Bogush</b>	Rector of The Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
PhD	<b>Maksim Davydov</b>	First Vice-Rector of BSUIR
PhD	<b>Victor Rybak</b>	Vice-Rector for Education of BSUIR
PhD	<b>Evgeni Shneiderov</b>	Vice-Rector for Education of BSUIR
PhD	<b>Viktor Stempitsky</b>	Vice-Rector for Research of BSUIR
	<b>Dmitry Kuznetsov</b>	Vice-rector for Personal Development of BSUIR
Prof.Dr.	<b>Leonid Shilin</b>	Dean of The Faculty of Information Technologies and Control of BSUIR

## PROGRAMME COMMITTEE

Prof.Dr.	<b>Tatiana Belyatskaya</b>	Head of Management Department of BSUIR
Prof.Dr.	<b>Vladimir Golenkov</b>	Professor of Intelligent Information Technologies Department of BSUIR
Prof.Dr.	<b>Vladimir Golovko</b>	Head of Intelligent Information Technologies Department of BrSTU
Prof.Dr.	<b>Alexander Ivaniuk</b>	Professor of Computer Science Department of BSUIR
Prof.Dr.	<b>Stanislav Kolosov</b>	Professor of Computational Methods and Programming Department of BSUIR
Prof.Dr.	<b>Vladimir Mukha</b>	Professor of Information Technologies in Automated Systems Department of BSUIR
PhD	<b>Vadim Zhuravliov</b>	Head of Fundamental Electrical Engineering Department of BSUIR
PhD	<b>Dmitry Kukin</b>	Head of Computational Methods and Programming Department of BSUIR
PhD	<b>Alexander Markov</b>	Head of Control Systems Department of BSUIR
PhD	<b>Anatoly Navrotsky</b>	Head of Information Technologies in Automated Systems Department of BSUIR
PhD	<b>Daniil Shunkevich</b>	Head of Intelligent Information Technologies Department of BSUIR

Пленарные доклады

Plenary session



# МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ВЕЩЕСТВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИХ ЗНАЧЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Шалькевич П. К.

Кафедра экономической информатики,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: p.k.shalkevich@gmail.com

*Материал посвящен описанию процессов мониторинга параметров загрязняющих окружающую среду веществ и подходов к прогнозированию их значений с применением геоинформационных систем в контексте решения задачи комплексной оценки состояния биосферы.*

## ВВЕДЕНИЕ

Современные подходы к изучению мониторинга окружающей среды позволяют в качестве основной его задачи выделить задачу комплексной оценки состояния биосферы. Решение этой задачи позволит полноценно оценить состояние окружающей среды, как открытой системы, учитывая всю совокупность факторов, влияющих на эту систему. Решение такой задачи требует применения специализированных программных и технических средств, разработка которых является актуальным и перспективным направлением научной деятельности [1]. Применение технических средств для решения задачи комплексной оценки состояния биосферы во многом обусловлено спецификой применяемых для решения этой задачи программных средств, которые направлены не только на обеспечение мониторинга окружающей среды, но и прогнозирование изменений ее параметров. При разработке такого рода программных средств особое внимание отводится хранению данных, обеспечению возможностей по применению методов обработки и анализа этих данных, а также методам численного моделирования и методам принятия решений [1, 2].

## I. МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ВЕЩЕСТВ

В основе мониторинга окружающей среды лежит наблюдение за его объектами, в качестве которых могут выступать: почвы, атмосферный воздух, сточные и поверхностные воды, а также конкретные показатели их загрязнителей. Согласно данным Главного информационно-аналитического центра Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь существуют следующие виды мониторинга окружающей среды [3]: мониторинг земель, мониторинг поверхностных вод, мониторинг подземных вод, мониторинг атмосферного воздуха, мониторинг озонового слоя, мониторинг растительного мира, мониторинг лесов, мониторинг животного мира, радиационный мониторинг, геофизиче-

ский мониторинг, локальный мониторинг окружающей среды, комплексный мониторинг естественных экологических систем на особо охраняемых природных территориях, комплексный мониторинг торфяников, социально-гигиенический мониторинг, система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Учитывая очевидность привязки мониторинга окружающей среды к объекту, стоит отметить, что одним из важнейших критериев этой привязки являются географические координаты, что подчеркивает тесную связь современных систем мониторинга окружающей среды с геоинформационными системами (ГИС).

Ярким примером ГИС онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды в Республике Беларусь является «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района» [4]. Видно, что в этой ГИС информация об окружающей среде представлена в виде набора геомаркеров, к которым привязаны данные измерений параметров компонентов окружающей среды (см. рис. 1).

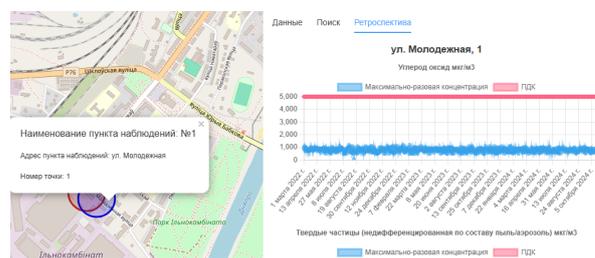


Рис. 1 – Данные измерений оксида углерода в пункте наблюдений № 1 по ул. Молодежной города Орши

Геомаркеры, в свою очередь, привязаны к картографическим данным веб-сервисов OpenStreetMap и Google Maps. Этих данных может быть достаточно не только для экспертной оценки состояния окружающей среды, но и для разработки и верификации моделей, позволяющих осуществлять прогнозирование изменения ее параметров.

## II. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ВЕЩЕСТВ

Как известно, существует два основных подхода к прогнозированию значений параметров окружающей среды: феноменологический и эмпирический. К феноменологическому относятся подходы, основанные на разработке математических моделей, описывающих процессы миграции загрязняющих веществ, и их дальнейшем применению в рамках программных продуктов [5, 6]. К эмпирическому же относятся подходы, основанные на применении стохастических моделей, полученных путем установления зависимостей выходных параметров от входных путем проведения экспериментов над объектом, а также законов теории вероятности и математической статистики. К проявлению такого подхода относятся прогнозы, получаемые при помощи нейросетевых технологий [7], а также инновационные методики, реализующие ранжирование радиоэкологических рисков на основании изучения динамики соответствующих угроз [8].

Описанные подходы для прогнозирования значений параметров загрязняющих окружающую среду веществ находят свое применение при решении ряда прикладных задач: для принятия решений по организации мониторинга на водосборах территорий, предназначенных для строительства и эксплуатации ядерных и радиационных объектов; для прогноза состояния окружающей среды после масштабных выбросов загрязнителей; для разработки мероприятий по снижению поступления загрязнителей в растениеводческую продукцию, в том числе за счет создания геохимических барьеров на пути их распространения, и предотвращению их накопления в организмах людей; для формирования комплексной оценки состояния биосферы в виде элемента системного кода программно-вычислительных комплексов по оценке экологической безопасности. Стоит отметить, что эти задачи могут быть решены с использованием данных Главного информационно-аналитического центра Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь, в частности, данных

ГИС «Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района», которая позволяет не только проводить ретроспективный анализ параметров загрязняющих окружающую среду веществ, но и использовать показанные в нем данные для разработки эмпирических моделей анализа и прогнозирования изменений параметров поллютантов и верификации феноменологических моделей, описывающие соответствующие физические процессы.

## III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шалькевич, П. К. Система управления данными и программное обеспечение для комплексной оценки состояния биосферы / П. К. Шалькевич, Д. С. Лавникович, Ю. С. Городная, А. В. Чемецова // Доклады БГУИР. – 2024. – Т. 22, № 4. – С. 92–99.
2. Шалькевич, П. К. Алгоритм автоматизации процессов ввода и обработки исходных данных для компьютерного прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в почвах / П. К. Шалькевич, А. О. Долматова // Цифровая трансформация. – 2023. – Т. 29, № 3. – С. 34–42.
3. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2024. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/>. – Дата доступа: 25.10.2024.
4. Система онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2024. – Режим доступа: <https://orsha-esokarta.gov.by/>. – Дата доступа: 25.10.2024.
5. Шалькевич, П. К. Верификация численных методов и математической модели, разработанных для моделирования миграции радионуклидов в природных дисперсных средах / П. К. Шалькевич, С. П. Кундас // Доклады БГУИР. – 2021. – Т. 19, № 3. – С. 66–74.
6. Шалькевич, П. К. Компьютерное прогнозирование пространственного распределения концентрации Cs-137 в почве / П. К. Шалькевич // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 2. – С. 139–145.
7. Кундас, С. П. Разработка нейронных сетей для прогнозирования миграции химических веществ в почве и алгоритмов их обучения / С. П. Кундас, В. И. Коваленко, О. С. Хилько // Наука и техника. – 2010. – № 2. – С. 32–38.
8. Герменчук, М. Г. Динамика состава радиационной обстановки и ранжирование радиоэкологических рисков в Республике Беларусь / М. Г. Герменчук, Н. Н. Цыбулько, П. К. Шалькевич, Т. В. Дашкевич // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2024. № 2. – С. 136–144.

# ПРИМЕНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНТЕГРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В СФЕРЕ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ СИМ МОДЕЛЕЙ СЕТЕЙ

Горячко А. Д.  
ООО «ИнноТех Солюшнс»  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: info@intechs.by

*В работе рассмотрены вопросы применения и развития интеграционных технологий PC-20 и СК-11 в области создания систем управления в сфере энергетики на основе СИМ моделей сетей, исходя из опыта компании ООО «ИнноТех Солюшнс»*

## ВВЕДЕНИЕ

**Программный комплекс (ПК) «SofIT Energy»** на базе интеграционной платформы ПК «SofIT-Energy-CIM-Processor», в основу которого положена общая информационная модель (СИМ), предназначен для решения проблемы разнородности, используемого на предприятиях электроэнергетики программного обеспечения и повышения качества управления объектами электроэнергетики. Также программный комплекс «SofIT Energy» предназначен для интеграции разнородных программных продуктов (функциональных компонентов), используемых на предприятиях электроэнергетики, обеспечивает полноту, достоверность, своевременность и непротиворечивость информации, требуемой для высокоэффективного управления объектами электроэнергетики.

В состав ПК «SofIT Energy» входят следующие программные продукты (функциональные компоненты):

1. ПК «SofIT-Energy-CIM-Processor» (на базе компонентов PC-20);
2. Комплекс «SofIT Energy SCADA» (на базе компонентов СК-11);
3. Комплекс «SofIT Energy OMS» (на базе компонентов СК-11);
4. Комплекс «SofIT Energy EMS/DMS» (на базе компонентов СК-11);
5. ПК СУПА «SofIT-Pass»;
6. ПК «SofIT-SCADA-Plus».

## I. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ПК «SOFIT ENERGY»

Программные продукты, входящие в состав ПК «SofIT Energy», реализуют задачи комплексной автоматизации для всей вертикали объектов предприятий электроэнергетики в областях оперативно-диспетчерского управления, автоматизированного сбора и учета энергоресурсов, управления производственными активами, аналитики и прогнозирования, стандартизированных и унифицированных интеграционных решений на основе СИМ.

## II. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС

## «SOFIT-ENERGY-CIM-PROCESSOR»

Программный комплекс «SofIT-Energy-CIM-Processor» – обеспечивает информационное взаимодействие между программными продуктами, входящими в ПК «SofIT Energy».

SofIT-Energy-CIM-Processor позволяет устранить проблемы, связанные с разрозненностью данных, автоматизировать и унифицировать информационный обмен на базе общей информационной модели (СИМ), что повышает качество данных, своевременность их получения и обработки, снижает затраты на обработку данных.

SofIT-Energy-CIM-Processor предназначен для решения следующих задач:

- интеграция разнородных программных продуктов предприятий электроэнергетики на основе СИМ;
- обеспечение возможности гибкой настройки информационных потоков и расширения состава обрабатываемой информации;
- обеспечение единой технологии создания и развития функциональных приложений на основе СИМ;
- обеспечение однократного ввода данных.

## III. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ «SOFIT-ENERGY-CIM-PROCESSOR»

Основные функции SofIT-Energy-CIM-Processor:

- ведение профиля цифровой модели предприятия с использованием классов СИМ, определенной в МЭК 61968 и МЭК 61970, а также СТП 33240.01.108-22 и расширяющих профилей СИМ, разработанных на основании МЭК 61968-11 и МЭК 61970-301 (канонический профиль);
- возможность расширения канонического профиля классами, необходимыми для описания предметной области;
- автоматическая проверка корректности вводимой информации в процессе ввода данных в цифровую модель предприятия;
- возможность экспорта подготовленной цифровой модели предприятия в подсистему

- управления нормативно-справочной информации;
- ведение справочников (классификаторов);
- ведение профилей;
- ведение правил преобразования сообщений;
- управление версиями информационной модели;
- конфигурация сценариев информационного обмена и настройка преобразования данных;
- загрузка сообщений из интегрируемых программных продуктов;
- регистрация получаемых сообщений в журнале сообщений и сохранение сообщений в хранилище сообщений;
- валидация полученных сообщений;
- анализ данных, поступивших в сообщении, наполнение информационной модели;
- формирование исходящих сообщений для интегрируемых программных продуктов;
- анализ и администрирование информационной модели;
- создание диагностического отчёта.

#### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CIM Schema: Version 2.51.0 [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.dmtf.org/standards/cim/cim\\_schema\\_v2510](https://www.dmtf.org/standards/cim/cim_schema_v2510). – Date of access: 26.10.2024

Секция «Системы управления»

Section «Control Systems»



# СОЗДАНИЕ АГЕНТНОЙ МОДЕЛИ ВЫЕЗДНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ

Алуев Е. А.

АТЕК

Брест, Республика Беларусь

E-mail: alooeff@gmail.com

*Работа посвящена созданию мульти-агентной системы выездного обслуживания оборудования. Описаны задачи перед системой, разработана и смоделирована работа нескольких сервисных бригад по ремонту и обслуживанию оборудования, распределенного на заданной территории. Изучена зависимость прибыли предприятия в зависимости от количества бригад и стоимости обслуживания оборудования. Изучена возможность динамического изменения количества бригад для поддержания работоспособности оборудования и нагрузки на сервисную бригаду на максимуме для эффективного использования ресурсов.*

## ВВЕДЕНИЕ

При организации системы выездного обслуживания возникает необходимость не только решать логистические и складские задачи, но и задачи составления расписания. При имеющемся плане установки оборудования часто необходимо выбрать оптимальное положение обслуживающего центра, из которого происходят выезды сервисных бригад. Однако даже очевидная задача выбора количества сервисных бригад с точки зрения уменьшения затрат на их содержание и увеличения прибыли от оборудования, остающегося работать максимально продолжительное время, задает немало параметров, для решения которых приходится прибегать к моделированию реальных ситуаций.

Парк оборудования (например, ветряные турбины, системы кондиционирования или вендинговые автоматы) распределен географически в пределах определенной области. Каждая единица оборудования приносит доход, пока она работает. Однако иногда она выходит из строя и требует ремонта или замены. Также необходимо своевременно проводить техническое обслуживание (ТО) согласно графику обслуживания конкретного оборудования. Несвоевременное техническое обслуживание, а также превышение отведенного ресурса кратно увеличивают вероятность отказа.

Система обслуживания состоит из нескольких сервисных бригад, которые базируются в одном центральном месте. Когда сервисная система получает заявку на ремонт или техническое обслуживание, одна из бригад получает его, едет к этому оборудованию и выполняет требуемую работу. Во время проверки неисправности может оказаться, что оборудование не подлежит ремонту. В этом случае его заменяют на новое. После выполнения ремонта или замены части оборудования выполняется ТО, если его срок уже наступил (все делается в течение одного визита). Закончив работу, сервисная бригада может принять еще один заказ и отправиться к следующему месту работы или вернуться домой, если заказов для нее нет.

Система обслуживания имеет набор параметров, которые определяют поведение агентов, так как влияют на приоритеты их задач:

Таблица 1 – Подпись таблицы

Параметр	Значение
Доход от работающего оборудования в день	300 ед.
Затраты на содержание сервисной бригады в день	200 ед.
Средние затраты на ремонт оборудования	1 000 ед.
Затраты на ТО оборудования	500 ед.
Затраты на замену оборудования	10 000 ед.
Среднее время ремонта оборудования	4 часа
Среднее время замены оборудования	10 часа
Вероятность замены оборудования после поломки	8 %
Периодичность техобслуживания	50 дней

## I. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При увеличении количества сервисных бригад уменьшается время простоя неисправного оборудования и одновременно увеличиваются затраты на содержание этих бригад. Регламентное техобслуживание и вероятность выхода оборудования из строя (с возможностью ремонта или с необходимостью замены) зависит от даты его установки и последнего обслуживания. Все это формирует зависимость работоспособности оборудования от множества факторов и вероятностей. В данной работе необходимо смоделировать процессы работы сервисных бригад и оценить оптимальное их количество для получения максимального дохода эксплуатирующим оборудованием предприятием.

## II. СОЗДАНИЕ АГЕНТОВ

Используя парадигму агентного моделирования [1], созданы модели объектов реальной системы - единицы оборудования и сервисные бригады. Необходимость в центральном диспетчере служб на данном этапе описания модели отсутствует.

**Агент единицы оборудования.** В зависимости от состояния единица оборудования по-

разному реагирует на прибытие сервисной бригады. Если бригада приезжает к работающему оборудованию, это может означать только то, что она выполнит плановое обслуживание, тогда как в состоянии Failed она осмотрит ситуацию и отремонтирует или заменит оборудование. Стоит также отметить, что согласно семантике диаграмм состояний переходы происходят мгновенно (занимают нулевое время), поэтому в нашей диаграмме состояний мы предполагаем, что проверка отказа занимает нулевое время. (Рис. 1)



Рис. 1 – Диаграмма состояний единицы оборудования

**Агент сервисной бригады.** Поведение сервисной бригады простое: она принимает запрос, едет к единице оборудования, выполняет работу и либо продолжает работу со следующим запросом, либо возвращается в свое исходное местоположение. В отличие от единицы оборудования, сервисная бригада является мобильным агентом, поэтому перемещение в пространстве будет неотъемлемой частью ее поведения. Однако понятие состояния (Ожидание, Движение на заявку, Работа) присутствует и здесь: (Рис. 2)



Рис. 2 – Диаграмма состояний сервисной бригады

Среди вещей, общих для всех агентов, есть область обслуживания (Service Territory), где на-

ходится оборудование и ездят сервисные бригады. Единицы оборудования расположены внутри области обслуживания согласно имеющимся реальным объектам. Сервисные бригады имеют начальное положение в базовом месте (дома). Агенты сервисных бригад будут выбирать кратчайшие маршруты по существующим дорогам. Для упрощения модели бригады будут ездить по прямым линиям там, где дороги отсутствуют.

Помимо области обслуживания на глобальном уровне, в модели присутствуют:

- Очередь заявок на ремонт или Техническое обслуживание;
- Диспетчер, который управляет очередью (создает заявки) и распределением заявок между сервисными бригадами, если их более одной.

### III. СТАТИСТИКА

Модель, реализованная в NetLogo [2], представляет собой код программы, определяющую начальные параметры агентов и их поведение. Интерфейс ПО позволяет выводить графики следующих параметров, необходимых для анализа системы:

- Доходы от имеющегося оборудования;
- Затраты на сервисную бригаду и выполняемые ею работы;
- Доступность оборудования
- Использование сервисной бригады
- Стоимость сервисной системы
- Доход по всей модели

График доступности оборудования показывает, какой % оборудования исправен (приносит выручку), а график загрузки (использования) сервисных бригад показывает величину их загрузки/простоя.

Модель также позволяет решать задачи динамического составления расписания (очереди заявок на обслуживание) для сервисных бригад [3,4]

1. Railsback, S.F. and Grimm, V. Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction. Princeton University Press 2012
2. Vidal J. Fundamentals of Multiagent Systems with NetLogo Examples. 2010. University of South Carolina, USA <https://jmvidal.cse.sc.edu/papers/mas.pdf>
3. Alooeff E., Adzinets D. Multi-Agent System For Intelligent Scheduling // ECMS 2024, Volume 38, Issue 1, June 2024, Cracow, Poland. European Council for Modelling and Simulation. doi:10.7148/2024-0507
4. Alooeff E. Agent-Based Model for Field Service Management // Artificial Intelligence and Soft Computing 23rd International Conference, ICAISC 2024, Zakopane, Poland, June 16–20, 2024, Proceedings, Part I

# ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В УПРАВЛЕНИИ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ

Гурская Я. С., Марков А. В.

Кафедра систем управления,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: arkhpenko.yana.serg@gmail.com., markov@bsuir.by

*Рассматриваются основные направления в применении беспроводных технологий передачи данных. Особое внимание уделяется технологии мобильной связи «5G». В качестве практического применения описываются достижения компании OMRON в проведении испытаний современной технологии «5G» на заводах и производственных участках.*

Беспроводные технологии передачи данных охватывают широкий спектр методов и средств, используемых для обмена информацией между устройствами. Беспроводные технологии обеспечивают высокую гибкость и эффективность производственных процессов в том числе роботизированных.

## КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

1. Система управления и мониторинга. Беспроводные сети позволяют удаленно управлять роботами и собирать данные о их работе в режиме реального времени, что способствует оперативному реагированию на изменения в производственном процессе. Это позволяет вовремя диагностировать и устранять неисправности, улучшая надежность системы.

2. Интеграция с IoT (Интернет вещей). С развитием Интернета вещей промышленные роботы все чаще интегрируются в более широкие системы автоматизации. Беспроводные технологии, такие как Wi-Fi, Bluetooth, NB-IoT и мобильные сети, позволяют роботам обмениваться данными с другими устройствами и системами, что важно для создания «умных фабрик».

3. Мобильность и адаптация. Беспроводные технологии позволяют роботам работать в динамичных средах, где требования к их расположению могут меняться. Высокая мобильность систем управления позволяет перемещать роботов на производственных участках в зависимости от текущих задач и оптимизации производственных потоков.

4. Системы облачного хранения и аналитики. Беспроводная передача данных дает возможность отправки информации в облако для дальнейшего анализа. Использование алгоритмов машинного обучения позволяет анализировать большие объемы данных, выявлять закономерности и оптимизировать работу роботов.

5. Безопасность. Внедрение средств беспроводной передачи создает необходимость в защите данных и систем от киберугроз. Современ-

ные технологии обеспечивают шифрование данных и аутентификацию устройств для защиты от несанкционированного доступа.

6. Возможные сложности при использовании беспроводных технологий передачи данных. Несмотря на многочисленные преимущества, внедрение беспроводных технологий также сталкивается с определенными сложностями. Например, это может быть связано с проблемами стабильности и уровня сигнала в условиях промышленных помещений, а также с необходимостью соблюдения норм по радиочастотному взаимодействию.

## БЕСПРОВОДНАЯ МОБИЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ «5G»

Корпорация OMRON (производитель промышленного оборудования и один из лидеров в производстве средств автоматизации, в том числе систем управления на основе промышленных роботов) освещает тему применения беспроводных технологий передачи данных в управлении промышленным оборудованием. В сентябре 2019 года компания сообщила о начале совместных испытаний с использованием системы мобильной связи пятого поколения «5G» на заводах и других производственных площадках. В ходе испытаний компании-партнеры (OMRON, NTT DOCOMO и NOKIA) совместно оценили полезность и возможности высокоскоростных, высокопроизводительных, малозадерживаемых и многократных одновременных соединений «5G» с целью решения проблем, с которыми сталкивается производственная отрасль, и разработки коммуникационных технологий, необходимых на производственных площадках будущего [1].

«5G» — это пятое поколение беспроводной сотовой технологии, которое обеспечивает повышенную скорость выгрузки и загрузки данных, более устойчивое подключение и увеличенную емкость по сравнению с сетями предыдущих поколений.

Мобильные сети «5G» дают производителям возможность создавать интеллектуальные

предприятия с огромным количеством подключений. «5G» поддерживает Интернет вещей, поэтому предприятия могут подключить несколько тысяч интеллектуальных устройств, таких как камеры, датчики, измерительные приборы, чтобы автоматически собирать данные в режиме реального времени. Предприятия могут анализировать и обрабатывать эти данные, чтобы повышать эффективность и рентабельность операций. Например, технология интеллектуальных датчиков может делать точные прогнозы относительно жизненных циклов оборудования, давать информацию для решений по планированию и определять, каким машинам может потребоваться обслуживание.

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «5G»

В ходе испытаний компании OMRON, NTT DOCOMO и NOKIA измеряли показатели радиоволн и проводили проверки качества и скорости передачи данных технологии «5G» на заводах, а также выполняли испытания, связанные с повышением производительности, обеспечением совместной работой людей и машин с использованием «5G».

В декабре 2020 года OMRON объявила о присоединении к «Локальному партнерству Nokia по технологиям 5G» для ускорения разработки решений «5G» для производственных предприятий и продвижения Индустрии 4.0.

Через два года корпорация OMRON представила материалы о результатах испытаний, в которых говорится о практических изменениях при применении беспроводных технологий передачи данных в управлении промышленными роботами. Современная мобильная технология передачи данных «5G» позволяет значительно увеличить зону распространения сигнала [2]. Следовательно, промышленные роботы могут находиться на значительном расстоянии от точки доступа и друг от друга, при этом иметь подключение к одной сети. Также технология «5G» обеспечивает следующие преимущества: улучшение позиционирования робота, проведение необходимых измерений с более высокой точностью, передача данных от устройств в центр обработки в режиме реального времени, повышение надежности сети, возможность использовать больше устройств в одной сети, уменьшение задержек по времени при передаче данных, улучшенная безопасность при передаче данных между устройствами.

В апрель 2023 OMRON, NOKIA и Dassault Systèmes приняли участие в Ганноверской ярмар-

ке. Результатом испытаний предыдущих лет явилась демонстрация интеллектуального транспорта с мобильными роботами и коллаборативными роботами в частной сети «5G» [3]. Компаниями разработано специализированное интеллектуальное и автономное транспортное приложение, в котором мобильный робот OMRON LD имеет беспроводное подключение к представленной частной беспроводной сетевой технологии Nokia «5G». Система разработана с учетом еще одной проблемы — доступности рабочей силы — это приложение показывает, как легко научить коллаборативных и мобильных роботов выполнять повторяющиеся задачи без необходимости программирования. На заводе роботы могут быть подключены к системе управления, которая работает в защищенной частной беспроводной сети, обеспечивая высокоскоростную связь и обработку сложных данных, для оптимизации данных в реальном времени. Это обеспечивает возможности IoT (Интернета вещей) для удовлетворения потребностей текущих и будущих развертываний автономных мобильных роботов в автоматизации производства.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С расширением технологий «5G» и улучшением беспроводных стандартов можно ожидать, что связь между промышленными роботами станет еще более надежной и быстрой, что откроет новые горизонты для их применения в автоматизации и производстве.

Таким образом, беспроводные технологии передачи данных существенно меняют подходы к управлению промышленными роботами, открывая новые возможности для эффективной автоматизации и повышения производительности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Omron.com [Электронный ресурс] / Глобальные новости – Пресс-релизы – OMRON, NTT DOCOMO и NOKIA договорились начать испытания 5G на производственных площадках. – Режим доступа: <https://www.omron.com/global/en/media/2019/09/c0910.html>. – Дата доступа: 15.10.2024
2. Automation Omron [Электронный ресурс] / Блог – Как технология 5G может расширить возможности автономных мобильных роботов (AMR). – Режим доступа: <https://automation.omron.com/en/us/blog/5g-tech-expand-amr-options>. – Дата доступа: 10.10.2024
3. Industrial Omron [Электронный ресурс] / Новости и события – Новости – OMRON, NOKIA и Dassault Systèmes используют возможности 5G и виртуальных двойников на Ганноверской ярмарке. – Режим доступа: <https://industrial.omron.eu/en/news-events/news/omron-nokia-and-dassault-systemes-harness-the-power-of-5g-and-virtual-twins-at-hannover-messe-newsitem>. – Дата доступа: 05.10.2024

# ПОДАВЛЕНИЕ ПОМЕХ В СИСТЕМЕ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Арпентий Д. О.  
 Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники,  
 Белорусский государственный технологический университет  
 Минск, Республика Беларусь  
 E-mail: hryniukda@gmail.com

*Проведено исследование по применению управляемых ограничителей для подавления помех в измерительном канале замкнутых контуров регулирования. Наличие шумов в измерительном канале при управлении технологических процессов затрудняет использование дифференцирования для улучшения динамики, а также способствует увеличению срока эксплуатации исполнительных механизмов систем управления*

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день появилось множество методов для улучшения динамики регулирования, в том числе путем введения в структуру регулирования элементов, которые быстро реагируют на изменения ошибки регулирования. Проблема классического ПИД-регулирования, связанная с сложностью обеспечения высокой скорости реагирования при наличии значительного уровня шума в измерительном канале, становится очевидной [1, 2]. Эта проблема усугубляется цифровым преобразованием аналогового сигнала в технических устройствах регулирования. Для решения проблемы шумов часто используют нелинейные фильтры. Некоторые устройства уже включают встроенный фильтр скользящего среднего и функцию исключения значений с наибольшим отклонением.

### I. ФИЛЬТР НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ (ФУО)

Управляемый ограничитель является нелинейным решением, поэтому его эффективность зависит от места в структуре регулирования. Для решения общей задачи шумоподавления ФУО лучше располагать после измерительного преобразователя. Если проблемы связаны с надежной работой исполнительного механизма ограничитель можно установить уже после регулятора.

При использовании классической структуры ПИД-регулятора, когда сигнал ошибки умножается на коэффициент усиления, а только потом поступает на звено дифференцирования или интегрирования, рационально устанавливать ФУО уже после усиления сигнала ошибки. Особенно, если коэффициент усиления регулятора значительно больше 1.

Фильтрацию с помощью управляемого ограничителя лучше производить только для контура обратной связи, так как он может вносить существенные нелинейные искажения в измерительный канал.

Может быть предложено несколько вариантов структур управляемого ограничителя (рис.

1), в которых коэффициент  $a$  формирует некоторое компромиссное значение между уровнем снижения амплитуды помех и временными задержками.

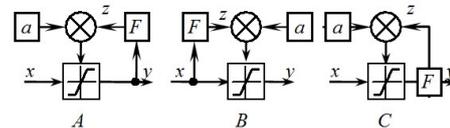


Рис. 1 – Структуры ФУО.  $F$  – сглаживающий фильтр;  $z$  – сигнал после фильтра

Параметр настройки  $z$  может быть как статический так и динамический. В первом случае имеем постоянную величину уровня ограничения функции верхней и нижней границы. Для динамического изменения потребуется определять текущую скорость входной величины. В самом простом случае это может быть фильтр высокой частоты.

### II. МОДЕЛИРОВАНИЕ

Предложенное решение было опробовано в системе динамического моделирования с помощью структуры, которая представлена на рис. 2. Для комплексной оценки предложенного решения в данной структуре величина запаздывания принимала значения  $\tau = [0, 1 \ 5 \ 15]$ .

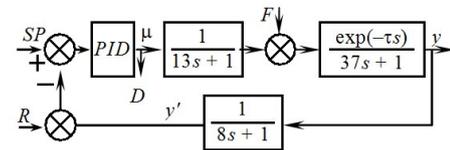


Рис. 2 – Структура объекта исследования.  $y$  – выходной сигнал;  $y^c$  – сигнал датчика,  $s$  – оператор передаточной функции в преобразовании Лапласа;  $\mu$  – сигнал после регулятора

Дисперсия создавалась встроенным генератором в Matlab со следующими значениями  $R = [0 \ 0,00003 \ 0,0001 \ 0,0003 \ 0,001 \ 0,003 \ 0,01]$ . Для выбора критерия настройки была произведена настройка данной структуры по различным интегральным критериям [3]. Некоторые варианты

критериев приведены ниже.

$$I_{1-3} = \int_0^{tf} t^N |e(t)| dt \rightarrow \min \quad (1)$$

$$I_4 = \int_0^{tf} (|e(t)| + |\mu(t)|) dt \rightarrow \min \quad (2)$$

$$I_{5-7} = \int_0^{tf} t^N e(t)^N dt \rightarrow \min \quad (3)$$

$$I_8 = \int_0^{tf} (e(t)^2 + \mu(t)^2) dt \rightarrow \min \quad (4)$$

где  $e(t)$  – невязка между сигналом задания  $SP$  и выходной переменной;  $tf$  – время от изменения сигнала задания до окончания переходного процесса;  $N$  – от 0 до 2.

Результат настройки можно видеть на рис. 4, 5. Наличие шума больше влияет на критерии с временным штрафом  $I_2 - I_3$ . Отличие в настройках для квадратичных критериев  $I_5 - I_8$  незначительны.

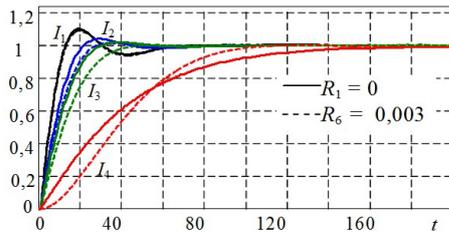


Рис. 3 – Переходные процессы при настройке по критериям  $I_1 - I_4$

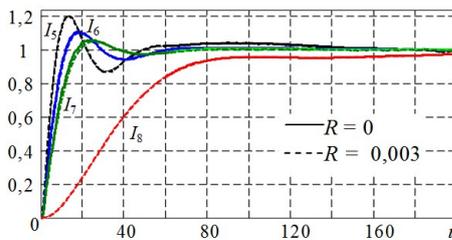


Рис. 4 – Переходные процессы при настройке по критериям  $I_5 - I_8$

Интегральные критерии, которые учитывают отклонение сигнала управления с регулятора фактически исключают дифференциальную составляющую из регулятора. Данные критерии могут быть использованы, когда вопрос надежной работы исполнительных механизмов стоит на первом месте.

Переходной процесс для критерия  $I_3$  соответствует компромиссу между быстродействием, перерегулированием и величиной времени дифференцирования  $td$ . Перерегулирование минимально, по времени регулирования проигрыш неболь-

шой в отличие от остальных критериев. Для оценки эффективности произведена проверка некоторых вариантов применения ФУО. Общая настройка производилась последовательно. Сначала путем минимизации интегрального критерия  $I_3$  осуществлялась настройка ПИД-регулятора. Затем путем минимизации дисперсии на стационарном участке переходного процесса находились постоянная фильтра и коэффициент  $a$  уравнения. Для нахождения скорости использовался реальный фильтр высокой частоты. Его параметры определялись путем минимизации времени переходного процесса (ВПП) или путем минимизации произведения времени переходного процесса и дисперсии  $D$  на стационарном участке на выходе из регулятора (ВППД) (рис. 3). В качестве фильтра использовался фильтр низкой частоты первого порядка. Для этих целей можно применять также фильтр бегущего среднего либо фильтр с использованием метода наименьших квадратов [4]. Настройка статического ФУО это соблюдение баланса между снижением дисперсии и ухудшение динамики регулирования. Динамическое изменение параметра  $a$  позволяет разделить эти задачи при настройке. Более подробно о настройке и полученных результатах можно увидеть [5].

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Структуры ФУО позволяют существенно повысить влияние шумов контуры с обратной связью. Комплексная настройка ФУО вместе параметрами ПИД-регулятора может повысить эффективность. Однако использование ДФУО с последовательной настройкой для прикладных задач, в большинстве случаев, будет достаточно: шаг 1. Настраиваем ПИД-регулятор с учетом параметров шума по интегральному критерию; шаг 2. Находим настройки статического ФУО на подавление шумов; шаг 3. Настраиваем ДНФУО для обеспечения быстродействия.

1. Somefun O. A. The dilemma of PID tuning / O. A. Somefun, A. Kayode, D. Folasade // Annual Reviews in Control. 2021. No. 52. P. 65–74.
2. Borase R. P. A review of PID control, tuning methods and applications / R. P. Borase [at al.] // International Journal of Dynamics and Control. 2021. No. 9. P. 818–827.
3. Гринюк Д. А. Моделирование и настройка систем с нелинейной динамикой / Гринюк Д. А. [и др.]. // Труды БГТУ. Сер. 3 – 2021, № 2(248). – С. 65–71.
4. Гринюк Д. А. Использование алгоритмов аппроксимации для сглаживания трендов измерительных преобразователей / Д. А. Гринюк, Н. М. Олиферович, И. Г. Сухорукова. // Труды БГТУ. Сер. 3, 2017. № 2 (200). С. 82–87.
5. Гринюк Д. А. Уменьшение влияния помех измерительного канала на замкнутую систему регулирования / Д. А. Гринюк, [и др.]. // Труды БГТУ. Сер. 3, 2023. № 2 (272). С. 58–70. DOI: 10.52065/2520-6141-2023-272-2-10.

# СИСТЕМА ВЕРИФИКАЦИИ ДИКТОРА НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГОЛОСА

Захарьев В. А., Крищенко В. А., Ходжиметов Э.

Кафедра систем управления, Кафедра интеллектуальных информационных технологий

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {zahariev, krish}@bsuir.by

В статье описана система верификации диктора, которая использует речевой сигнал для идентификации пользователей. Применение нейронной сети, архитектуры WavLM, для извлечения голосовых признаков, позволило более точно анализировать и различать голосовые сигналы, что повысило общую эффективность системы. Таким образом, переход от векторного квантования к использованию нейронной сети привел к более надежной и точной системе верификации дикторов.

## ВВЕДЕНИЕ

Защита информации при автоматизированной обработке тесно связана с управлением доступом, которое опирается на идентификацию, аутентификацию и верификацию пользователей. Традиционные методы, такие как пароли, персональные идентификаторы и удостоверения личности, вроде паспортов или водительских прав, часто оказываются недостаточно надежными и уязвимыми к несанкционированному доступу.

Современные системы управления доступом все чаще переходят к биометрическим технологиям, которые основываются на анализе физиологических характеристик человека, таких как отпечатки пальцев, сетчатка глаза, изображения лица или голосовые записи. Эти методы обеспечивают более высокий уровень безопасности, так как физические особенности человека являются уникальными и трудно подделываемыми. Среди этих систем особое внимание уделяется верификации на основе речевых сигналов, что требует понимания основ таких технологий для эффективного их применения в информационной безопасности [1].

## I. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГОЛОСА

Для повышения точности верификации диктора, как обычной, так и зашумлённой обстановке, в работе предлагается использовать глубокие нейронные сети, с учетом использования предобученных моделей для решения задач верификации диктора. Использование предобученных сетей для выделения векторов признаков дикторов после мел-кепстрального анализа и построения кодовых книг на основе данных embedding-ов является эффективным подходом, позволяет улучшить процесс верификации дикторов.

Был рассмотрен ряд современных нейросетевых архитектур, для которых имелись предобученные модели в открытом доступе, среди них ESCAPA-TDNN, HuBERT, Wav2Vec, UniSpeechSAT и WavLM [2, 3].

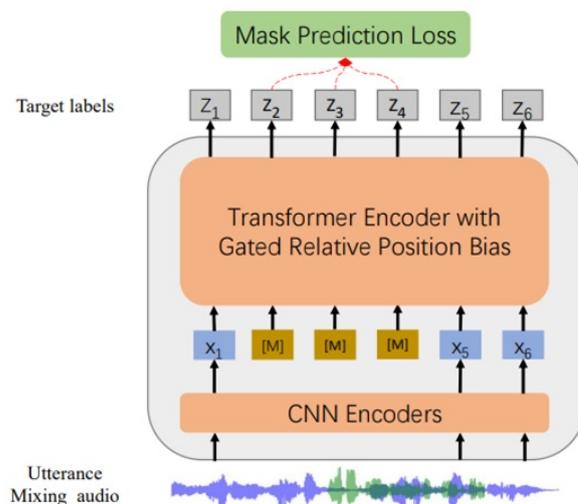


Рис. 1 – Архитектура глубокой ИНС WavLM [2]

При построении модифицированного алгоритма верификации была выбрана архитектура WavLM. Данная архитектура представляет собой весьма актуальную в данный момент связку сверточной нейронной сети и сети архитектуры трансформер со специальными слоями внимания (attention) [4].

Модель WavLM состоит из 24 слоев кодировщика (transformer), с внутренними состояниями размерности 1024 (LSTM) и 12 блоков внимания (attention block), что приводит к общему количеству параметров сети порядка 316,62 миллионов. Размерность входного слоя (на вход которого подаётся как правило спектрограмма или мел-кепстральные коэффициенты сигнала) может варьироваться в зависимости от окна анализа от 16x32 до 64x512. Среднее время вычисления характеристического вектора (embedding-a) составляет от 120мс-500мс.

Архитектура WavLM специально разработана для обработки аудиосигналов: WavLM является нейронной сетью, специально предназначенной для обработки аудиосигналов. Она была разработана с использованием передовых техник и архитектур, применимых к задачам обработки

речи. Это делает ее подходящей для извлечения высококачественных признаков из аудиозаписей, включая голосовые данные дикторов.

Обоснование выбора архитектуры WavLM в качестве предобученной сети для выделения признаков можно WavLM предоставляет возможность использования предварительно обученных весов и моделей, что позволяет значительно сократить время и ресурсы, затрачиваемые на обучение сети с нуля. Это особенно полезно, когда у нас ограниченные ресурсы или ограниченное количество данных для обучения.

В целом, использование архитектуры WavLM в качестве предобученной сети для выделения признаков имеет ряд преимуществ, таких как специализация на обработке аудиосигналов, высокая точность и эффективность, поддержка предварительно обученных весов и широкая доступность. Эти факторы делают WavLM привлекательным выбором для использования в задаче верификации дикторов в том числе.

## II. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для обучения и тестирования системы использовался набор данных VoxCeleb, который включает в себя тысячи часов голосовых записей различных дикторов. Этот набор данных обеспечил разнообразие и достаточное количество примеров для эффективного обучения и проверки алгоритмов [4].

Матрица спутывания для случая применения нейронной сети при соотношении сигнал-шум 18 дБ при добавлении белого шума (см. таблица 1).

Таким образом значения точности и полноты и F-меры, равны следующим значениям.

Средняя точность:  $(0.95 + 0.95 + 0.95 + 0.95 + 0.97 + 0.97 + 0.95 + 0.97) / 8 = 0.959$

Средняя полнота:  $(0.95 + 0.95 + 0.92 + 0.97 + 0.97 + 0.95 + 0.95 + 0.95) / 8 = 0.951$

Средняя F-мера:  $(2 * 0.959 * 0.951) / (0.959 + 0.951) = 0,955$

Из чего можно сделать вывод что применение нейронной сети в качестве энкодера вектора признаков диктора для позволила увеличить точность системы верификации на 18,7%.

## III. ВЫВОДЫ

Базовый алгоритм верификации на основе векторного квантования использовался для извлечения признаков речевого сигнала и построения кодовых книг дикторов. Однако, с использованием нейронной сети, в данном случае модели WavLM, удалось добиться более высокой точности и эффективности в процессе верификации. Полученные результаты показывают, что использование нейронной сети в алгоритме верификации на основе речевого сигнала значительно повышает его качество. Значение F-меры, равное 0,955, свидетельствует о высокой точности и надежности алгоритма в определении схожести дикторов. Это позволяет достичь более надежной и безопасной системы идентификации субъектов доступа на основе их голосового сигнала.

Дальнейшая разработка и оптимизация алгоритма могут привести к еще более высоким показателям эффективности и точности. Например, можно использовать более сложные модели нейронных сетей или внести дополнительные этапы предварительной обработки аудио записей. Это может помочь улучшить различение между разными дикторами и добиться еще более высоких значений F-меры и общей эффективности алгоритма.

## IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонова, В. М. Разработка системы аутентификации с использованием верификации диктора по голосу / В. М. Антонова, К. А. Балакин, Н. А. Гречишкина, Н. А. Кузнецов // Информационные процессы. – 2020. – Т. 20. – № 1. – С. 10-21.
2. Sahu, A., & Singh, A. A Comprehensive Review on Speaker Verification Techniques: Challenges and Future Directions / A. Sahu, A. Singh // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 150-165.
3. Xu, Y., & Li, Y. WavLM: A Comprehensive Framework for Speech Representation Learning / Y. Xu, Y. Li // IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. – 2021. – Vol. 29. – P. 1570-1581.
4. Крищеневич, В. А. Системы верификации субъектов доступа на основе речевого сигнала / В. А. Крищеневич, В. А. Захарьев // ITS 2021. – Минск, 2021. – С. 42–43.

Таблица 1 – Матрица спутывания, полученная в результате тестирования системы

Номер диктора (Д)	Д1*	Д2*	Д3*	Д4*	Д5*	Д6*	Д7*	Д8*
Д1	29	0	0	0	0	1	0	0
Д2	0	29	0	0	0	0	1	0
Д3	0	0	28	0	0	0	2	0
Д4	0	0	0	28	0	0	0	2
Д5	0	0	0	0	29	1	0	0
Д6	1	0	0	0	0	28	1	0
Д7	0	1	0	0	0	0	29	0
Д8	0	0	0	2	0	0	1	27

# АВТОНОМНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫМИ РОБОТАМИ-МАНИПУЛЯТОРАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ОГРАНИЧЕНИЙ

Кожевников М. М., Чумаков О. А., Илюшин И. Э.

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств,  
Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий

Могилев, Республика Беларусь

Кафедра систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: kmmk@mail.ru, iliue@yandex.by, olegchumakov@bsuir.by

*Предложен метод автономного программирования системы управления роботом-манипулятором, который реализует поиск рациональной траектории вдоль сварных швов и учитывает пространственные и кинематические ограничения при формировании управляющей программы. Метод основан на использовании цифровой модели сборочно-сварочной системы, которая описывает ее геометрические и кинематические параметры, позволяет определить оценки качества различных вариантов управляющей программы робота по критерию объема движений и выбрать рациональный вариант такой программы. Предложенный метод показал эффективность при использовании в составе программного пакета, для решения задач автоматизации проектирования систем управления роботами.*

## ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение сборочно-сварочных роботов манипуляторов в условиях современного промышленного производства обусловлено тем, что они обеспечивают высокую гибкость при смене номенклатуры сварочных инструментов и сварных конструкций. Технология сварки каждой разновидности сварных конструкций может отличаться одна от другой последовательностью наложения и пространственным положением сварных швов, местами закрепления сварных конструкций и направлениями швов. Традиционные методы программирования систем управления сборочно-сварочными манипуляторами предполагают достаточно трудоемкий процесс переобучения робота программным движениям при изменении номенклатуры сварочных инструментов и сварных конструкций [1]. Однако более эффективным подходом к созданию программ управления роботом является его автономное программирование на основе компьютерной цифровой модели роботизированной сборочно-сварочной системы [1-3].

Задача автономного программирования может быть решена в два этапа. Первый этап предполагает поиск рациональной траектории робота на основе цифровой модели системы, которая учитывает пространственные и кинематические ограничения. На втором этапе полученная траектория адаптируется к техническим возможностям робота и его системы управления и преобразуется в технологическую программу пригодную для передачи в стойку управления сборочно-сварочной системой. Следует отметить, что наиболее из двух указанных задач первая является вычислительно затратной поскольку поиск рационального решения зависит от ряда факторов. Поэтому актуальное направление исследований связанное эффек-

тивным решением задач автономного программирования роботов с учетом особенностей цифрового моделирования сборочно-сварочных систем.

## 1. МЕТОД АВТОНОМНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В сборочно-сварочных системах технологическая программа управления роботом должна обеспечить движение сварочной горелки вдоль сварных швов, которые в общем виде могут быть описаны множеством точек в декартовом пространстве  $\{p_i \in R^3\}$ ,  $i = 1 \dots N$  [4]. Тогда положение и ориентация сварочной горелки (рис. 1) при ее движении вдоль сварных швов может быть представлена в виде следующей матрицы

$$H_i = \begin{bmatrix} a_i & a_i \times n_i & n_i & p_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $n_i \in R^3$  – вектор, задающий ось поворота сварочной горелки,  $(a_{i+1} - a_i) / |p_{i+1} - p_i|$  – вектор, задающий направление движения сварочной горелки.

С учетом (1) задача описания движения робота-манипулятора (рис. 2) вдоль набора сварных швов может быть представлена в виде уравнения (формула 2), где  ${}^b L_f(q_{i,j}^k)$  – матрица параметров манипулятора,  ${}^0 L_b(x_k)$  – матрица преобразования связывающая мировую и базовую системы координат,  $q_{i,j}^k \in R^d$  – углы в поворотных сочленениях робота,  $R(a_i, \alpha_j)$ ,  $R(a_i \times n_i \beta_i)$ ,  $R(n_i, \alpha_i) H_i$  – матрицы поворота сварочной горелки на углы  $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$ ,  $d$  – количество степеней свободы робота.

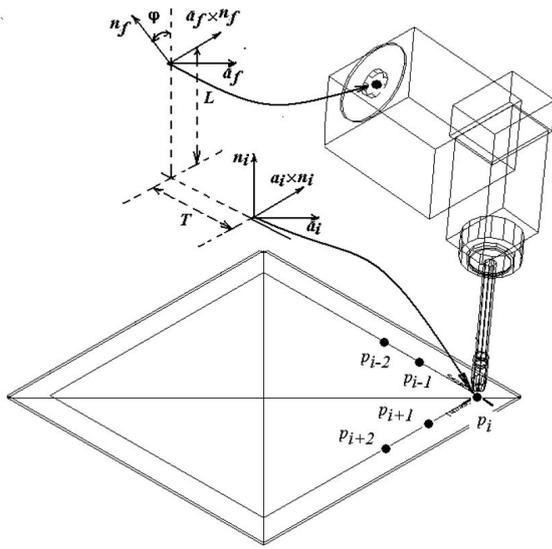


Рис. 1 – Системы координат сварочной горелки

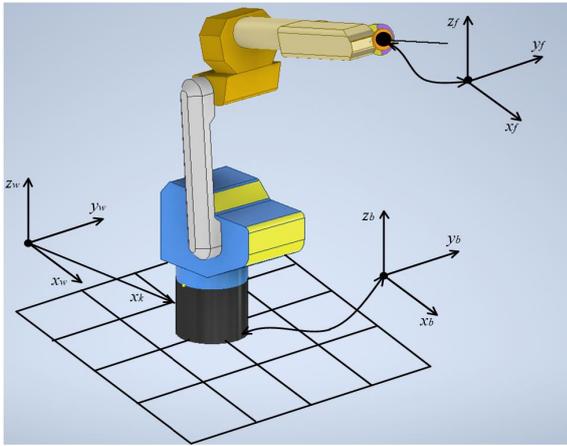


Рис. 2 – Системы координат робота манипулятора

При автономном программировании робота-манипулятора значения углов  $q_{i,j}^k$  ограничены как геометрическими так и кинематическими параметрами сборочно-сварочной системы. В общем виде такие ограничения можно записать следующим образом

$$\Omega_{kin}(q_{i,j}^k, \mu) = 0, \Omega_{col}(q_{i,j}^k, \mu) = 0, \quad (3)$$

где  $\Omega_{kin}, \Omega_{col}$  – функции, принимающие нулевые значения, если кинематические и геометрические ограничения выполняются. Оценка качества движения робота-манипулятора в соответствии с технологической программой управления оценивается по критерию объема движений в его сочленениях

$$J = \sum_{j=1}^N |q_{n,i,j}^k - q_{n,i-1,l}^k|, \quad (4)$$

где  $n = 1 \dots d$ . С учетом (4) может быть сформулирован следующий критерий для оценки качества любой последовательности движений всех звеньев манипулятора

$$\min_{\alpha_j, \beta_j, \gamma_j} \sum_{n=1}^d w_n J_n, \quad (5)$$

где  $w_n$  – весовые коэффициенты.

## II. СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ РОБОТОВ

Сформулированная задача поиска рациональной по критерию (5) последовательности движений робота-манипулятора может быть достаточно эффективно решена известными методами поиска, например методом направленного графа [5]. Для автоматического преобразования полученных последовательностей движений робота-манипулятора в технологическую программу разработана специальная интегрированная среда. В состав этой среды входят редактор программного кода и отладчик. При этом все найденные последовательности движений выводятся на экран с помощью многооконного интерфейса. Созданная программа может быть промоделирована, в том числе с использованием кинематической и динамической моделей робота. Эффективность предложенного метода и системы автономного программирования сборочно-сварочных роботов манипуляторов подтверждается рядом примеров практического применения при создании управляющих программ.

1. Hong, T. S. Robotic welding technology / T. S. Hong, M. Ghobakhloo, W. Khaksar // Comprehensive materials processing. – 2019. – №6. – P. 77–99.
2. Wang, B. Intelligent welding system technologies: State-of-the-art review and perspectives / B. Wang, S. J. Hu, L. Sun, T. Freiheit // Journal of Manufacturing Systems. – 2020. – №56. – P. 373–391.
3. Benakis, M. Welding process monitoring applications and INDUSTRY 4.0. / M. Benakis, C. Du, A. Patran, R. French // In 2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). – 2019. – P. 1755–1760.
4. Кожевников, М. М. Методы и алгоритмы планирования траекторий роботов-манипуляторов для лазерной резки / М. М. Кожевников, О. А. Чумаков, В. М. Шенков, И. Э. Илюшин // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2019. – №2(63), – С. 4–12.
5. Кожевников, М. М. Методы и алгоритмы генерации программных траекторий роботов-манипуляторов в процессе дуговой сварки / М. М. Кожевников, О. А. Чумаков, И. Э. Илюшин, Л. А. Лоборева // Доклады БГУИР. – 2019. – №1(119). – С. 19–25.

$$R(a_i, \alpha_j) R(a_i \times n_i, \beta_i) R(n_i, \alpha_i) H_i = {}^0 L_b(x_k)^b L_f(q_{i,j}^k)^f L_p. \quad (2)$$

# РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТОТИПА ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА CH32V307

Лавров А. А., Лупин А. В., Малышев И. А., Кузнецов К. С.  
Высшая школа компьютерных технологий и информационных систем  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Санкт-Петербург, Россия

E-mail: {lavrov\_aa, lupin\_av, malyshev\_ia}@spbstu.ru, kuznetsov.ks@edu.sbpstu.ru

*В работе представлены результаты разработки и исследования инерциальной навигационной системы (ИНС), использующей микроконтроллер CH32V307 архитектуры RISC-V и микроэлектромеханические системы (МЭМС) инерциальных датчиков. Предложена структура стенда для исследования характеристик ИНС. Приведены результаты оценки времени автономной работы ИНС при различных траекториях перемещения.*

## ВВЕДЕНИЕ

Инерциальные навигационные системы (ИНС), выполненные на основе микроэлектромеханических (МЭМС) инерциальных измерительных модулей (ИИМ), используются совместно со спутниковыми навигационными системами и образуют вместе с ними интегрированные навигационные системы. Важным параметром ИНС, выполненных на бюджетных МЭМС ИИМ, является время их автономной работы, под которым подразумевается время, в течении которого погрешность вычисления координат при пропадании сигналов со спутников не превышает заданной величины. Практический интерес представляет оценка времени автономной работы ИНС, построенных на базе бюджетных МЭМС ИИМ (стоимостью менее 2000 рублей) и доступных на российском рынке микроконтроллеров, которые способны реализовать алгоритмы работы ИНС. До настоящего времени в качестве вычислителей, реализующих алгоритмы навигации, широко применялись микроконтроллеры (МК) семейств AVR и ARM. Ввиду ограничений, введенных производителями на применение указанных МК, представляется актуальной задача исследования возможности применения доступных в России других МК.

## I. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

При выборе элементной базы для прототипа, в настоящее время, в связи со сложностью преодоления формальных препятствий, поставки и санкционных ограничений, внимание фокусируется на открытую архитектуру RISC-V [2]. В работе [3] авторами представлены материалы исследований режимов, временных характеристик и перспективы использования 32-разрядного микроконтроллера (МК) CH32V307 китайской фирмы WCH [4]. Показано, что высокая производительность обеспечивается и в формате с плавающей точкой. Можно решать задачи оптимизации кода для уменьшения времени выполнения программы. Учитывая данный опыт, для создания про-

тотипа ИНС использовалась отладочная плата CH32V307-EVT-R1 и средства для программирования.

## II. СОЗДАНИЕ СТЕНДА И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Для обеспечения функций прототипа в структуру входят (рис. 1):

- отладочная плата с МК CH32V307;
- инерциальный измерительный модуль GY-91 (MPU9250);
- модуль магнетометра GY-271 (QMC5883L);
- программатор-отладчик WCH-Link;
- персональный компьютер.

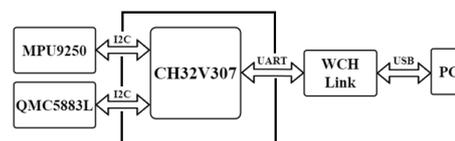


Рис. 1 – Структура и состав стенда

Для создания опытного образца был использован фрагмент стеклотекстолита размером 10x10 см. Вид макета представлен на рис. 2.

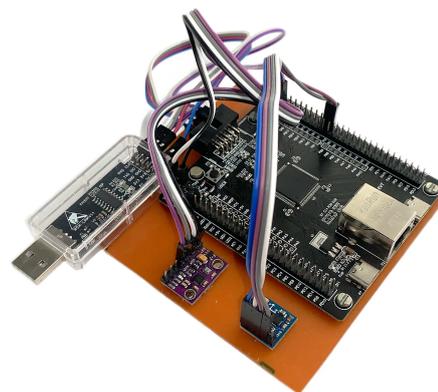


Рис. 2 – Стенд прототипа

Разработаны следующие алгоритмы:

- инициализации и калибровки трехосевых гироскопов, акселерометров и магнетометров и считывания данных с этих датчиков по интерфейсу I2C;
- вычисления углов ориентации объекта в пространстве в виде углов Эйлера путем объединения данных, полученных с акселерометров и гироскопов при помощи комплементарного фильтра;
- вычисления матрицы направляющих косинусов и пересчета линейных ускорений из связанной системы координат (СК) в земную СК и вычисления приращений координат в земной СК координат на основе интегрирования линейных ускорений.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

Сравнивались вычисленные траектории с заданными эталонными траекториями различной формы: прямолинейной, Г-образной, П-образной и треугольной при движении с различной скоростью. Для примера на рис. 3 приведены вычисленные и эталонные Г-образные траектории, на рис. 4 – П-образные траектории, а на рис. 5 – треугольные траектории, при преодолении указанных траекторий за время равное 8 с. Погрешность определения координат по осям X и Y возрастает с течением времени и при окончании движения составляет 0,2 м. Такая погрешность принята за предельно допустимую, поэтому сделан вывод, что время автономной работы ИНС  $T_{АВТ} = 8$  с. Указанный результат получен при заданной частоте обработки данных равной 100 Гц. При частоте обработки данных равной 50 Гц время  $T_{АВТ} = 5$  с. Оценка возможной частоты обработки данных – отдельная задача, которая в дальнейшем будет решаться при помощи созданного стенда.

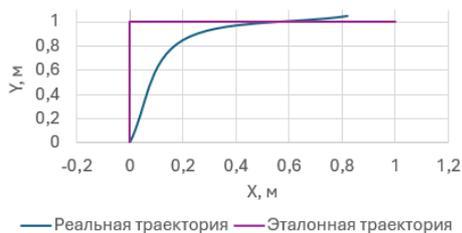


Рис. 3 – Результат работы ИНС при движении по Г-образной траектории

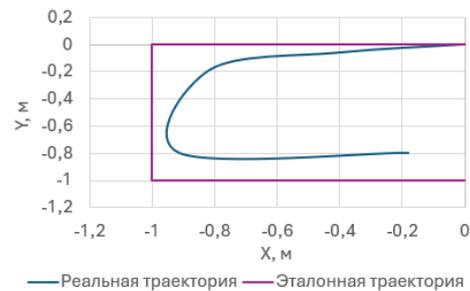


Рис. 4 – Результат работы ИНС при движении по П-образной траектории

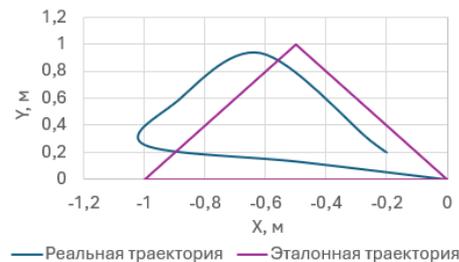


Рис. 5 – Результат работы ИНС при движении по треугольной траектории

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создан опытный образец ИНС, которую предполагается использовать в дальнейшем как составную часть интегрированной навигационной системы для колесных роботов. Опытный образец построен на основе бюджетного широко используемого разработчиками МЭМС ИИМ и МК с архитектурой RISC-V, применение такого МК также является бюджетным решением. Проведенные исследования ИНС позволили оценить время автономной работы и учесть этот результат при разработке интегрированной навигационной системы. Считаем, что практические результаты работы могут быть полезны разработчикам навигационных систем.

### V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев В. И. и др. Инерциальные навигационные системы // Самара: [Изд-во СГАУ]. – 2011.
2. The RISC-V Instruction Set Manual. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://riscv.org/wp-content/uploads/2017/05/riscv-spec-v2.2.pdf> – Date of access: 17.10.2024.
3. Лукин А.В., Лавров А.А., Божко А.В. Способы конфигурации и анализ характеристик микроконтроллера CH32V307 архитектуры RISC-V // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 9. С. 263-270.
4. CH32V30x Evaluation Board Reference Manual. Официальный репозиторий CH32V307 на GitHub. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://github.com/openwch/ch32v307/blob/main/EVT/PUB/CH32V30x%20Evaluation%20Board%20Reference-EN.pdf> – Date of access: 17.10.2024.

# ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ФИЛЬТРАЦИИ СПАМ СООБЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Ломонос Г. В., Захарьев В. А.

Кафедра систем управления,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: lomonosg07@gmail.com, zahariev@bsuir.by

*Статья посвящена исследованию современных систем и методов обнаружения вредоносных сообщений в электронной почте. В ней представлен обзор наиболее эффективных подходов и технологий, а также рассмотрены ключевые особенности их реализации.*

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, где цифровая коммуникация занимает центральное место в нашей повседневной жизни, проблема спам-сообщений становится все более актуальной. Спам не только засоряет наши почтовые ящики, но и может представлять серьезную угрозу безопасности, включая фишинг и распространение вредоносного ПО. В связи с этим разработка эффективных систем фильтрации спама приобретает особую значимость [1]. В данной статье мы предлагаем гибридную систему фильтрации спам-сообщений, основанную на использовании моделей машинного обучения. Эта система сочетает в себе как традиционные алгоритмы машинного обучения, так и методы глубокого обучения, что позволяет повысить точность и надежность классификации сообщений.

## I. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

Предлагаемая система фильтрации спама состоит из нескольких ключевых компонентов, которые обеспечивают эффективную обработку и классификацию сообщений. Архитектура системы включает следующие этапы:

– Очистка данных: На первом этапе текстовые сообщения проходят через процесс очистки, где удаляется ненужная информация, такая как HTML-теги и специальные символы.

– Предобработка текста: После очистки данные разделяются на два потока для дальнейшей обработки:

– TF-IDF представление: Сообщения преобразуются в числовые векторы с использованием метода TF-IDF, что позволяет выделить важные слова в тексте. TF-IDF – это статистическая мера, используемая для оценки важности слова в контексте документа, который является частью коллекции или корпуса. Формула для вычисления TF-IDF для термина  $t$  в документе  $d$  из корпуса  $D$  выглядит следующим образом:

$$\text{TF-IDF}(t,d,D) = \text{TF}(t,d) \times \text{IDF}(t,D)$$

где

$$\text{TF}(t,d) = \frac{f_{t,d}}{\sum_{t \in d} f_{t,d}}$$

$$\text{IDF}(t,D) = \log \left( \frac{N}{|\{d \in D: t \in d\}|} \right)$$

где  $f_{t,d}$  – частота термина  $t$  в документе  $d$ ,  $N$  – общее количество документов в корпусе, а  $|\{d \in D: t \in d\}|$  – количество документов, содержащих термин  $t$ .

– Векторизация слов: Используются методы векторизации, такие как Word Embedding, для представления слов в виде векторов, что помогает выявлять семантические связи между словами. Одним из популярных методов является Word2Vec [2], который обучает векторные представления слов, оптимизируя задачу предсказания контекста слова. Формула для представления слова  $w$  в виде вектора может быть описана как:

$$v_w = \text{Word2Vec}(w)$$

где  $v_w$  – это векторное представление слова  $w$ , полученное с помощью модели Word2Vec. Обучение таких векторов обычно основано на нейронной сети, которая минимизирует ошибку предсказания соседних слов в тексте.

– Моделирование с использованием машинного обучения: Традиционные методы: На TF-IDF вектора применяются традиционные алгоритмы машинного обучения, такие как Naïve Bayes, SVM и Decision Tree, для классификации сообщений. Глубокое обучение: Векторизованные данные обрабатываются с помощью нейронных сетей, что позволяет выявлять более сложные паттерны в текстах.

– Классификация: Оба подхода завершаются этапом классификации, где сообщения разделяются на спам и не спам. Гибридность предлагаемой системы фильтрации спам-сообщений заключается в сочетании различных подходов и технологий машинного обучения для достижения наилучших результатов в классификации сообщений. Основные аспекты гибридности системы включают:

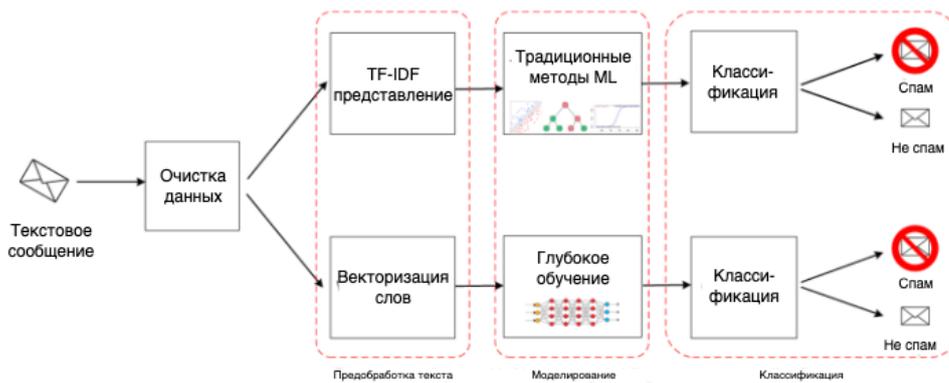


Рис. 1 – Основные аспекты гибридности системы

Комбинация традиционных и глубоких методов обучения: Система использует как традиционные алгоритмы машинного обучения (например, Naive Bayes, SVM, Decision Tree), так и методы глубокого обучения (например, нейронные сети). Это позволяет системе эффективно обрабатывать как простые, так и сложные паттерны в текстах сообщений. Параллельная классификация: После предобработки данные параллельно классифицируются с использованием различных алгоритмов. Это позволяет сравнивать результаты и выбирать наиболее эффективный метод для конкретного набора данных. Интеграция с внешними источниками данных: Гибридная система может интегрироваться с другими источниками данных и методами анализа, такими как анализ сетевого трафика или поведенческий анализ, для более комплексного подхода к фильтрации спама. Таким образом, гибридность системы заключается в интеграции различных технологий и подходов, что позволяет ей быть более гибкой, точной и устойчивой к изменениям в характере спам-сообщений.

## II. ТЕСТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

Тестирование системы фильтрации спам-сообщений проводилось с использованием различных моделей машинного обучения, результаты которых представлены в таблице. Основные метрики, такие как точность, полнота и F-мера, были использованы для оценки производительности каждой модели.

Для экспериментов использовались разнообразные наборы данных, такие как SMS Spam Collection, Enron Email Dataset и Twitter Spam Dataset [3]. Эти наборы обеспечивают разнообразие текстовых форматов и контекстов, что позволяет моделям обучаться и тестироваться на различных типах спам-сообщений. SMS Spam Collection предоставляет данные о текстовых сообщениях, Enron Email Dataset – о реальных электронных письмах, а Twitter Spam Dataset – о спаме в социальных сетях. Это разнообразие данных

позволяет моделям быть более универсальными и эффективными в реальных условиях.

Таблица 1 – Результаты тестирования системы

Модель	Точ. (%)	Пол. (%)	F (%)
SVM	88.5	86.7	87.6
DT	85.2	83.9	84.5
CNN	91.3	89.8	90.5
LSTM	92.1	90.5	91.3
Hybrid	94.5	93.2	93.8

Гибридная модель, объединяющая различные подходы, показала наилучшие результаты. Это подчеркивает эффективность комбинирования методов для повышения точности классификации.

## III. ВЫВОДЫ

Предложенная гибридная система фильтрации спам-сообщений демонстрирует высокую эффективность благодаря сочетанию традиционных и современных методов машинного обучения. Использование различных алгоритмов позволяет системе адаптироваться к изменяющимся условиям и новым угрозам. В результате система обеспечивает надежную защиту от спама и фишинга, минимизируя количество ложных срабатываний и повышая качество пользовательского опыта. В будущем планируется дальнейшее совершенствование системы, включая интеграцию с другими методами анализа данных и расширение функциональности для работы с мультимедийными сообщениями.

## IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y. Zhang, J. Li, & X. Wang. A Comprehensive Survey on Email Spam Filtering: Techniques, Datasets, and Open Challenges. *Journal of Information Security and Applications*, 2022, vol. 65, 103049.
2. R. Kumar, & P. Singh. Enhancing Email Security: A Hybrid Approach to Spam Detection Using Machine Learning and Deep Learning Techniques. *Computers & Security*, 2023, vol. 120, 102845.
3. T. T. Ngyueng, & D. M. Tran. A Novel Framework for Social Media Spam Detection Using Advanced Natural Language Processing Techniques. *Expert Systems with Applications*, 2021, vol. 184, 115502.

# АНАЛИЗ ГОЛОНОМНОГО ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО МЕКАНУМ-РОБОТА ПРИ УПРАВЛЕНИИ С НЕПРЕРЫВНО ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ КУРСОМ ТРАЕКТОРИИ

Радкевич А. А., Павлюковец С. А.

Кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок и технологических комплексов,  
Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {radkevichaa, sap}@bntu.by

*Рассмотрена проблема управления позиционным движением мобильного четырёхколёсного робота на меканум колёсах с непрерывно изменяющимся курсом траектории. Проанализированы параметры, характеризующие движение робота на плоскости и определяющие его голономность. Приведены рекомендации по повышению показателей качества путём модернизации системы управления.*

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема устойчивого движения мобильного робота на всенаправленных колёсах связана с решением сложных задач нелинейной динамики с учётом кинематики механизма. Для робота, имеющего четыре всенаправленных колеса типа меканум, важными показателями позиционного управления являются точность позиционирования, ошибка положения, угол отклонения корпуса, а при наличии требований к быстродействию – динамические характеристики двигателей (угловые скорости и динамические моменты).

### I. МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТА

Для исследования и анализа свойств робота была создана имитационная модель в программном пакете MATLAB Simulink, включающая подсистемы, отражающие кинематическую и динамическую модели робота, модель движения по заданной траектории, инструменты вывода и визуализации данных. Математическая модель исследуемого робота описана авторами в статье [1]. Процесс создания компьютерной модели подробно рассмотрен в статье [2].

Рассмотрим динамическую модель робота, учитывающую передаточные функции четырёх вентильных синхронных электродвигателей, систем управления электроприводами, усилий и моментов, действующих на элементы робота в процессе движения, а также систему управления координатами центра масс робота по траектории.

Математическая модель синхронных электроприводов линеаризована для определения параметров объекта управления. В качестве электродвигателей выбраны синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) марки SGMSH фирмы Omron, мощностью 750 Вт, частотой вращения 3000 об/мин, крутящим моментом  $2,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Двигатели соединены с колёсами через планетарные редукторы.

Поскольку моделируемый робот относится к классу автономных устройств (АМУ), то система управления электроприводами замкнутая двух-

контурная. В астатическом контуре скорости применены ПИД-регуляторы. Контур тока содержит ПИ-регуляторы и предназначен для реализации векторного управления электродвигателями.

Задание траектории, представляющую произвольную кривую высокого порядка, осуществлено методом сплайновой интерполяции. В соответствии с координатами кривой получены выражения для координат центра робота и функции задания скорости для каждого колеса в зависимости от времени и в соответствии с принципами управления колёсами типа меканум. Также необходимо подчеркнуть, что движение робота моделировалось в плоскости X-Y, а влиянием сил реакции поверхности и трения на ролики колёс пренебрегается.

### II. АНАЛИЗ ГОЛОНОМНОСТИ ТРАЕКТОРНОГО ДВИЖЕНИЯ РОБОТА

Ключевым показателем качества траекторного управления для данного типа роботов является точность позиционирования. Результаты моделирования системы управления по произвольной сплайн-траектории показаны на рис. 1, где пунктиром обозначена заданная расчётная траектория, а сплошной линией – фактически пройденная траектория центра робота.

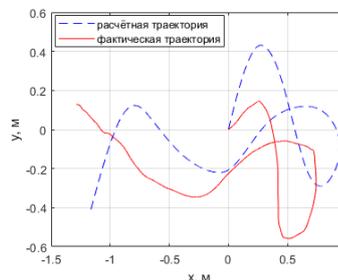


Рис. 1 – Расчётная и фактическая траектории робота

На рис. 1 присутствует значительное рассогласование траекторий. Влияние динамики электроприводов и иных сил, действующих на робот при движении сказывается на инерционности системы и, как следствие, отклонений от курса следования.

Поскольку система управления имеет контур регулирования скорости, проанализируем графики угловых скоростей колёс (рис. 2).

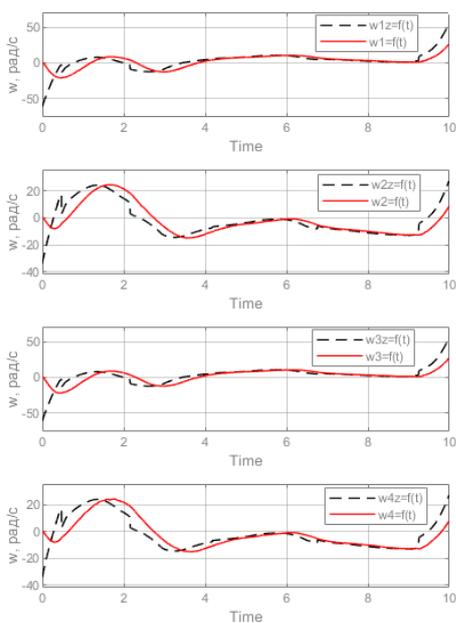


Рис. 2 – Графики угловых скоростей колёс робота

На рис. 2 пунктирной линией показаны задающие значения скорости, а сплошной линией – фактической скорости. Из графиков следует, что контур регулирования поддерживает устойчивость системы по скорости, а рассогласования незначительны. В целом, значения ошибок регулирования скорости являются допустимыми в условиях постоянного изменения параметров внешнего возмущения.

Характер ошибки позиционирования в координатах  $X$  и  $Y$ , показанный на рис. 3 трёхмерным графиком в функции времени, отмечает наибольшую величину ошибку положения в конечной точке траектории, с постоянным нарастанием величины ошибки до 1,5 м.

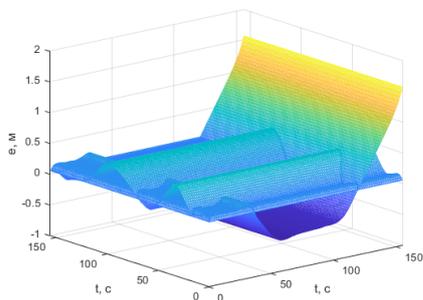


Рис. 3 – Графики ошибок позиционирования робота в осях  $X$  и  $Y$

Во время отработки траектории робот допустил отклонения по положению по сравнению с

исходным, максимальное значение которого составило 26 градусов (рис. 4).

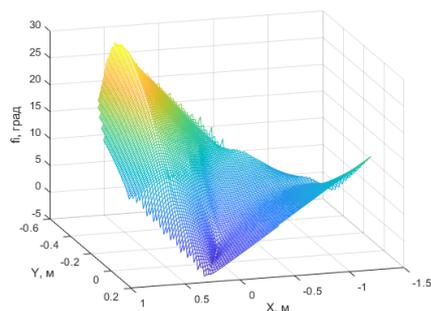


Рис. 4 – График угла отклонения в плоскости координат робота

Характер распределения угла отклонения на координатной плоскости демонстрирует наличие наибольших отклонений в областях вокруг точек с координатами  $(-0,6;0,1)$ ,  $(0,5;0,3)$ , которые соответствуют положениям робота в крайних точках кривой. На этих участках повышается интенсивность маневрирования и увеличивается ошибка положения вследствие более резкого изменения угла положения траектории. Из-за нелинейности СДПМ, инерционности механизмов робота снижается устойчивость системы и возрастает рассогласование в контурах управления электроприводами. ПИД-регуляторы скорости из-за своего быстрого действия не могут в полной мере обеспечить поддержание одинаковой скорости вращения всех четырёх колёс. К тому же при маневрировании скорости вращения диагонально размещённых механум-колёс принимают противоположные значения, что может приводить при определённых значениях ускорения к заносу корпуса и потере маневренности.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наибольшие отклонения угла поворота корпуса робота проявляются в моменты увеличения ускорения диагонально размещённых колёс, то есть с ростом угла поворота и радиуса кривизны кривой траектории. Для повышения качества динамических показателей необходимо применение астатического контура положения.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радкевич, А. А. Математическая модель движения мобильного робота с колесами всенаправленного типа / А. А. Радкевич, У. Синьсинь, А. А. Вельченко, С. А. Павлюковец // Доклады БГУИР. – 2024. – Т. 22, № 1. – С. 82–90.
2. Радкевич, А. А. Исследование динамических характеристик голономного робота с колесами типа механум на основе 3D параметрической имитационной модели / А. А. Радкевич, С. А. Павлюковец // Наука и техника. – 2024. – Т. 23, № 5. – С. 359–369.

# ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ В АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРАХ НАПРЯЖЕНИЯ

Сидоров Д.

Кафедра систем управления

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: sam65th@mail.ru

*В работе рассмотрен и проанализирован вид модуляции для формирования первой гармоники питающего напряжения электродвигателей, ориентированный на применение в автономных инверторах напряжения.*

## ВВЕДЕНИЕ

В большинстве САУ электроприводов (ЭП) используется автономные инверторы напряжения (АИН), в которых питающее напряжение электродвигателя (ЭД) с помощью полупроводниковых ключей коммутируется с промежуточным звеном постоянного тока (ЗПТ) в зависимости от сигналов с компараторов, сравнивающих огибающую первой гармоники напряжения с пилообразным сигналом генератора заданной частоты.

Основными преимуществами традиционных автономных инверторов напряжения (АИН) являются простота схемотехнического решения и низкая стоимость конструктивной реализации.

Несмотря на преимущества АИН в простоте и стоимости, существенным недостатком является долговечность промежуточного звена постоянного тока, обычно выполняемого на основе электротехнических конденсаторов, которые оказываются наименее долговечным элементом в преобразователе. Зачастую с ЗПТ снимается не все возможное напряжение, в результате чего снижается общая эффективность работы ЭП.

## I. ИЗМЕНЕНИЕ ОГИБАЮЩЕЙ ШИМ

При использовании непосредственно синусоидальной формы огибающей широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [1], значение напряжения, получаемого на выходе инвертора, не может превысить  $\frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0,827$  напряжения на его входе. Для повышения коэффициента использования входного напряжения существуют множество способов модуляций, получивших в литературе общее название – “пространственно-векторная” ШИМ (ПВШИМ или ПВМ) [2], у которой этот коэффициент достигает 1,0.

Кроме этого, ПВШИМ позволяет понизить динамические потери в ключах за счет 120-градусных бескоммутационных промежутков в каждой из трех фаз инвертора (рисунок 1).

Значения трехфазных напряжений в каждый момент времени  $t$  для огибающей сигнала с ПВШИМ  $U_{asv}(t)$ ,  $U_{bsv}(t)$ ,  $U_{csv}(t)$  вычисляются по формулам (1):

$$\begin{cases} U_{asv}(t) = \frac{U_a(t) - \delta}{\sqrt{3}}; \\ U_{bsv}(t) = \frac{U_b(t) - \delta}{\sqrt{3}}; \\ U_{csv}(t) = \frac{U_c(t) - \delta}{\sqrt{3}}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\delta = \min(U_a(t), U_b(t), U_c(t))$ .

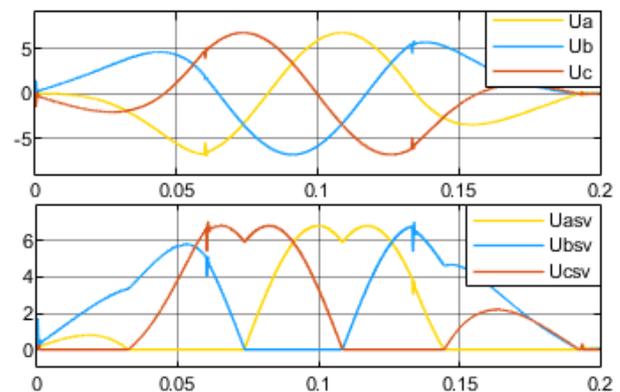


Рис. 1 – Графики огибающих напряжений

По второму графику напряжений  $U_{abc\ sv}$  видно, что в каждый момент времени существует состояние, в котором один из полумостов может быть заперт.

## II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции позволяет повысить коэффициент использования входного напряжения с промежуточного звена постоянного тока до 1 и снизить динамические потери в полупроводниковых ключах. Это позволяет повысить надежность эксплуатации и энергоэффективность традиционных АИН.

1. Сорока, Н. И. Телемеханика. Модуляция и кодирование информации. В 2 ч. Ч. 1 / Н. И. Сорока, Г. А. Кривинченко. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 45-55.
2. Шишков А. Н. Оптимальная гибридная последовательность переключения для трехуровневого инвертора напряжения с пространственно-векторной ШИМ / А.Н. Шишков, М.М. Дудкин, А.С. Маклаков, В.К. Ле – Магнитогорский государственный технический университет, Электротехнические системы и комплексы. 2023. № 3(60). – С. 61-71.
3. Калачев, Ю. Н. Векторное регулирование (заметки практика): методическое пособие / Ю. Н. Калачев. – М. : ЭФО, 2013. – С. 60-62.

# СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Соколович М. Г., Аксёненко М. А. Захарьев В. А.

Кафедра систем управления, Кафедра интеллектуальных информационных технологий  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: zahariev@bsuir.by, {maksimsokolovic185, aksenenko2208}@gmail.com

*В докладе рассматриваются современные подходы к построению систем предиктивного обслуживания на основе методов ИИ, а также примеры их успешного применения.*

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях интенсивного развития промышленных и производственных предприятий, обеспечение бесперебойной работы технологического оборудования приобретает решающее значение. Предиктивное обслуживание (ПдО – Predictive Maintenance, PdM) становится одним из ключевых инструментов для повышения эффективности управления жизненным циклом оборудования и минимизации непредвиденных простоев. Суть предиктивного обслуживания заключается в прогнозировании сбоев и определении оптимального времени для проведения ремонтных работ, основываясь на анализе данных об эксплуатационных параметрах и состоянии оборудования.

В последние годы технологии искусственного интеллекта (ИИ) значительно улучшили точность и адаптивность таких систем. Применение ИИ для предиктивного обслуживания позволяет анализировать огромные массивы данных, выявлять скрытые закономерности и аномалии, что ведет к повышению эффективности эксплуатации и снижению затрат на обслуживание [1].

## I. СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Предиктивное обслуживание направлено на мониторинг и диагностику состояния оборудования в режиме реального времени. Оно отличается от традиционного планово-предупредительного обслуживания тем, что проводится на основе фактических данных о состоянии оборудования (рис. 1, в), а не на основании календарных интервалов (рис. 1, б), или по факту отказа оборудования (рис. 1, а) [2, 5]. Ключевые этапы процесса предиктивного обслуживания включают:

- Сбор данных – сбор данных с помощью датчиков о вибрациях, температуре, давлении, износе и других параметрах.
- Анализ данных – обработка и анализ полученных данных для выявления аномалий и оценки текущего состояния оборудования.
- Прогнозирование отказов – с использованием методов прогнозной аналитики и ИИ осуществляется предсказание вероятности и времени возможного отказа.

- Оптимизация времени обслуживания – определение оптимального времени для проведения ремонтных работ с целью минимизации простоев и издержек.

Основными источниками данных для предиктивного обслуживания являются датчики интернета вещей (IoT), которые обеспечивают постоянный поток информации о работе оборудования. Эти данные позволяют выявлять ранние признаки износа и прогнозировать возможные отказы [2, 3].

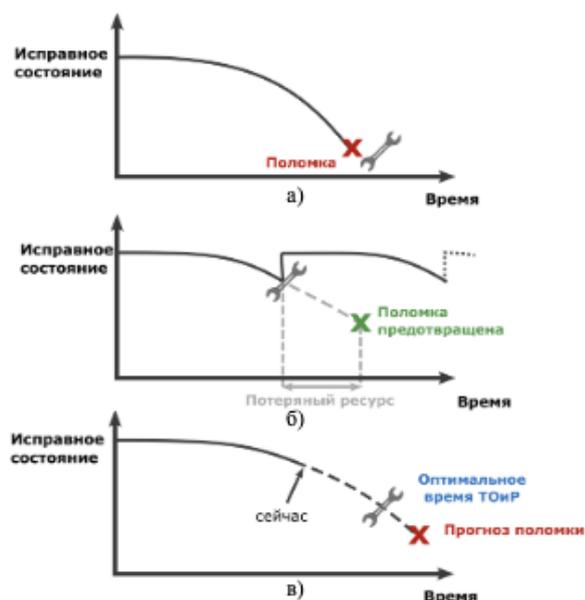


Рис. 1 – Классификация систем: а) реактивный подход; б) профилактический подход; в) предиктивный подход;

## II. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИИ В СИСТЕМАХ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Основой системы мониторинга являются датчики, собирающие данные с оборудования. Для создания алгоритмов предсказательного обслуживания нужно накопить большой объем данных для обучения моделей машинного обучения [5].

Для разных задач требуются разные типы данных:

1. Обнаружение аномалий: достаточно данных нормального состояния оборудования.
2. Классификация: нужны данные как нормального состояния, так и дефектных состояний с аннотациями, чтобы идентифицировать типы отклонений (например, неисправности).
3. Прогнозирование: необходимы данные с метками о состоянии оборудования на момент выхода из строя.



Рис. 2 – Архитектура системы ПдО на с использованием ИИ

Сбор данных – трудоемкий процесс, так как многие поломки происходят редко, а намеренное создание дефектов на оборудовании может быть затратным и технически сложным. Решение этой проблемы – использование цифрового двойника, виртуальной модели оборудования. Цифровой двойник, имитируя работу реального объекта, получает данные с датчиков в реальном времени и позволяет прогнозировать его состояние без риска поломки реального оборудования. Создание цифровых двойников возможно с применением как классических аналитических методов, так и применения подходов на основе ИИ [5].

Применение методов ИИ в системах предиктивного обслуживания охватывает широкий спектр технологий, таких как машинное обучение, глубокое обучение, обработка больших данных и интеллектуальный анализ данных. Рассмотрим основные методы ИИ, которые используются для предиктивного обслуживания [3, 4].

Машинное обучение (ML). Алгоритмы машинного обучения позволяют моделировать поведение оборудования на основе данных о его состоянии. Одними из наиболее часто используемых алгоритмов являются деревья решений, случайные леса и метод опорных векторов. Эти алгоритмы способны выявлять аномалии в работе оборудования и делать предсказания на основе обучающих выборок. Методы: деревья решений, случайные леса, метод опорных векторов.

Глубокое обучение (DL). В ситуациях, когда объем данных значителен и существует слож-

ная зависимость между параметрами, методы глубокого обучения, такие как нейронные сети и сверточные нейронные сети (CNN), показывают высокую эффективность. Они позволяют обрабатывать сложные временные ряды и распознавать нестандартные паттерны, что делает их идеальными для анализа многомерных данных IoT-устройств. Методы: полносвязные нейронные сети, сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN), LSTM.

Онтологический подход. Онтологический подход структурирует знания о системе и помогает выявлять взаимосвязи между различными состояниями оборудования, улучшая точность прогнозов и объединяя данные из различных источников в единую модель. Методы: OWL (Web Ontology Language), RDF (Resource Description Framework), SPARQL, OSTIS.

Успешное применение ИИ для предиктивного обслуживания уже реализовано в таких областях, как авиация, автомобильная промышленность и нефтегазовая отрасль. Например, компании, использующие предиктивное обслуживание на основе ИИ, отмечают уменьшение простоев до 50% и снижение затрат на обслуживание до 20% [3, 4, 5].

### III. Выводы

Применение ИИ в системах предиктивного обслуживания позволяет значительно улучшить эксплуатационные показатели технологического оборудования. Прогнозирование сбоев и оптимизация графика обслуживания на основе анализа данных позволяет компаниям снижать затраты и повышать производительность. Разработка и внедрение таких систем требует комплексного подхода и грамотного использования методов машинного обучения, глубокого обучения и обработки больших данных.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tran N. T. An overview of the application of machine learning in predictive maintenance // *Petrovietnam Journal*. – 2021. – (10). – С. 47–61.
2. Ucar A., Karakose M., Kırımca N. Artificial Intelligence for Predictive Maintenance Applications: Key Components, Trustworthiness, and Future Trends // *Applied Sciences*. – 2024. – № 2 (14). – С. 898.
3. Храмовских В. А., Шевченко А. Н., Непомнящих К. А. Адаптивный интеллектуальный анализ данных как инструмент для прогнозирования ресурса узлов горных машин и оборудования // *Науки о Земле и недрапользование*. – 2023. – № 2 (83) (46). – С. 212–225.
4. Datta S. D. Artificial intelligence and machine learning applications in the project lifecycle of the construction industry: A comprehensive review // *Heliyon*. – 2024. – № 5 (10). – P. 268-288.
5. О развитии предсказательного обслуживания на примере диагностики трансформатора [Электронный ресурс] / Блог компании ЦИТМ Экспонента // *Habr*. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/ctm-exponenta/blog/123456>. Дата доступа: 20.10.2024.

# ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ: АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПУТИ ЕГО РАЗВИТИЯ

Стешенко П. П., Свито И. Л., Журавлёв В. И.

Кафедра теоретических основ электротехники

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: sppmailbox@mail.ru, svito@bsuir.by

*В работе проведен анализ применения эксплуатационных параметров автотранспорта, работающих на основе двигателей внутреннего сгорания. Основными их недостатками являются загрязнение внешней среды отработанными газами и сравнительно низкая топливная экономичность. Рассмотрены альтернативные варианты транспортных средств на базе электромобилей. Предложено обучение специалистов в БГУИР на основе существующей в университете учебно-методической базы.*

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие современного индустриального общества включает транспортные средства, как необходимую составляющую часть экономической деятельности. Основные сферы их применения: грузоперевозки, пассажирские перевозки. В последние годы к ним добавились сложные космические, подводные и подземные средства [1]. Совершенствование транспортных средств осуществлялось в основном по пути повышения функциональности и надежности механических устройств. Основной проблемой являлось улучшение экологических параметров и экономичности потребления топлива. Однако ограничение физических параметров применяемых углеводородов в качестве топлива и металлов в конструкции двигателя замедлило решение указанных проблем. Развитие электроники позволило принципиально изменить конструкцию и систему управления электромобилей.

## I. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ

Основными преимуществами автомобильной техники являются: мобильность, доступность к местам применения, низкие первоначальные и эксплуатационные затраты по сравнению с железнодорожными и авиационными транспортными средствами, наличие разработанной топливной энергетической базы [2].

Однако возникли проблемы создания энергетической базы для периодической зарядки источника питания. Анализ показывает, что химическая энергия используется для движения транспортного средства всего на 15% и менее. Это происходит из-за потерь электроэнергии в линиях электропередачи, трансформаторах, преобразователях, зарядных устройствах для аккумуляторов и самих аккумуляторах, электромашинах, как в тяговом, так и в генераторном режимах, а также в тормозах при невозможности рекуперации энергии. Для сравнения, дизельный двигатель в оптимальном режиме работы преобразует в механическую энергию около 40% химической энергии топлива.

Передача электроэнергии потребителям требует дополнительных больших затрат на создание новых линий. Альтернативные источники атомной, солнечной энергии сегодня не позволяют обеспечить необходимые объемы. Отсутствие достаточной сети зарядных устройств ограничивают расстояния при эксплуатации электротранспорта. Сегодня эксплуатация электромобилей экономически не оправдана. Электромобили стоят значительно дороже аналогичных моделей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

При большом распространении аккумуляторных электромобилей недостаточно электроэнергии, вырабатываемой всеми электростанциями мира. Поэтому эффективным способом реализации применения электротранспорта сегодня является использование его в населенных пунктах за счет сравнительно малых затрат на создание в них сети зарядных станций. Малый пробег до перезарядки аккумуляторной батареи (100 – 400 км) зависит от скорости и нагрузки. Требуется значительное время на зарядку. Плотность энергии в традиционном топливе для ДВС в 20 раз выше, чем в современных аккумуляторах.

Основной аргумент за использование электромобилей – отсутствие выбросов токсичных веществ в окружающую среду, но при этом увеличится потребление электроэнергии и загрязнение окружающей среды электростанциями. Если рассматривать загрязнение окружающей среды только от автомобилей и электростанций, то произойдет следующее. В атмосферу практически не будут поступать токсичные вещества (канцерогены) СО, озон, летучие органические соединения. Уровень СО<sub>2</sub> будет понижен вдвое, содержание окислов азота NO, снизится на 20...25%. Содержание двуокиси серы вырастет.

Вторым аргументом в пользу применения электромобилей является сокращение потребления нефти. Тепловые электростанции могут потреблять уголь или газ, автомобили с ДВС – только топливо, произведенное из нефти, разведанные запасы которой значительно меньше, чем угля. Например, в США только 4% электроэнергии

вырабатывается электростанциями, потребляющими нефтепродукты.

Третий аргумент: большинство электромобилей будут перезаряжаться в непииковые ночные часы. Это позволит рациональнее использовать имеющуюся систему распределения электроэнергии, что приведет к снижению тарифов. Производство, эксплуатация, утилизация батарей неизбежно увеличивает загрязнение окружающей среды. Энергетическим источником электромобилей сегодня является аккумуляторная батарея, которая ограничена емкостью энергии. В то время как основной аргумент за использование электромобилей – отсутствие выбросов токсичных веществ в окружающую среду. Переход на электромобили уменьшит загрязнение окружающей среды автомобилями, но увеличится потребление электроэнергии и загрязнение окружающей среды электростанциями.

Вопреки мнению о высокой экономичности аккумуляторных электромобилей, химическая энергия топлива, сжигаемого на электростанциях, используется для движения транспортного средства всего на 15% и менее. Это происходит из-за потерь электроэнергии в линиях электропередачи, трансформаторах, преобразователях, зарядных устройствах для аккумуляторов и самих аккумуляторах, электромашинах, как в тяговом, так и в генераторном режимах, а также в тормозах при невозможности рекуперации энергии. Для сравнения, дизельный двигатель в оптимальном режиме работы преобразует в механическую энергию около 40% химической энергии топлива. Полагают, что при сегодняшнем уровне техники широкое применение электромобилей уменьшит загрязнение атмосферы в крупных городах, при этом ухудшится экологическая ситуация в местах производства электроэнергии и в среднем на планете.

Основным ограничением при эксплуатации электромобилей является их малый радиус действия. Средний автомобиль с ДВС и полным баком проходит 750–1100 км, бак может быть заправлен за 5–10 минут. В среднем электромобиль проходит до перезарядки в среднем 180–400 км, зарядка батареи занимает значительно больше времени. При движении по шоссе из-за этого могут возникать проблемы с безопасностью.

В электромобилях приходится компенсировать большой вес аккумуляторов применением легких сплавов для кузовных и других компонентов. Электромобиль должен иметь низкое трение качения, малое аэродинамическое сопротивление, эффективные системы отопления и кондиционирования. Силовой агрегат электромобиля служит намного дольше, чем двигатель внутреннего сгорания. Аккумуляторная батарея – единственный проблемный элемент электромобиля, так как нуждается в обслуживании и периодической замене. В настоящее время используются литий-ионные, натрий-ионные аккумуляторы. Однако возникли

проблемы с их утилизацией. Поэтому сегодня, в переходной период, этот недостаток преодолевается в гибридных электромобилях за счет использования двух источников питания: аккумуляторов и ДВС.

Обеспечение разработки новой и эксплуатация современной, постоянно совершенствующейся электротранспортной автомобильной техники требует подготовки специалистов высшего и среднего образования в области электронных систем управления. Особенность подготовки специалистов в этой области определяется быстрыми темпами развития материаловедения, электронной техники, новыми требованиями к экологии и безопасности автомобиля при его эксплуатации.

Для решения этой проблемы требуются высококвалифицированные педагогические кадры, непрерывное совершенствование научно-методических пособий и использование современной материально-технической базы учебных предприятий.

В БГУИР в настоящее время имеются все предпосылки для подготовки специалистов высшего и среднего образования для разработки новых видов систем управления электротранспортом и его эксплуатации. Для специальности «Промышленная электроника» читаются дисциплины: электронные приборы, преобразовательная техника и силовая электроника, микропроцессоры, компьютерное моделирование электронных устройств, устройство и электрооборудование автомобильной техники, техническая эксплуатация, диагностика и ремонт автотехники и системы обмена информацией в автомобильной технике. Авторами разработаны методические материалы [3-5] и лабораторные стенды для обучения студентов по специализации «Электронные устройства автомобиля». По нашему мнению, возможно далее расширить учебную базу для подготовки специалистов по другим специализациям наземного, подземного, воздушного и водного электротранспорта.

## II. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савич Е.А.. Легковые автомобили. / Уч. пособие. Минск : ООО «Новое знание».2009. - 651 с.
2. Савич, Е. Л. Автотранспортные средства с электродвигателем : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов / Е.Л. Савич, В.В. Капустин, А. С. Гурский. – Минск : Вышэйшая школа, 2023. – 255 с.
3. Курулёв, А.П. Диагностика и ремонт электронных систем управления автомобиля. / А.П. Курулёв, П. П. Стешенко. Учебно-методическое пособие. – Минск. БГУИР. 2024 – 135 с.
4. Стешенко П.П., Свито И.Л. Учебная программа. Техническая, эксплуатация, диагностика и ремонт автотехники. – Минск, БГУИР, 2024.
5. Стешенко П.П. Техническая эксплуатация, диагностика и ремонт автотехники. Лабораторный практикум : пособие / П.П. Стешенко, Журавлёв В.И., С.С. Лапочкин. – Минск : БГУИР, 2019. – 63 с.

# СЕРВОПРИВОД В ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ С МОДАЛЬНЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ И КВАДРАТИЧНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО СКОРОСТИ

Хаджинов М. К., Павлова А. В., Стасевич Н. А.

Кафедра систем управления,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {pavlova, stasevich}@bsuir.by

*Осуществляется перевод сервопривода с модальными регуляторами и квадратичной обратной связью по скорости к работе в инерциальной системе координат заменой энкодера на гироскоп.*

## ВВЕДЕНИЕ

Высококачественные сервоприводы имеют, как правило, структуру подчинённого регулирования, с тремя контурами управления: положения, скорости и тока. В них всегда имеется физическое ограничение по ускорению (вращающему моменту электродвигателя) и узкая зона линейности управления, преодоление которой входным сигналом часто приводит к режиму автоколебаний. Причиной автоколебаний является гистерезисная характеристика сочетания интегрального регулятора сервопривода и физического ограничения сигнала управления объектом. В традиционном сервоприводе с интегральными регуляторами оптимальное по быстродействию управление невозможно в принципе.

Однако использование модальных регуляторов вместо интегральных, встраивание ограничителя с квадратичной обратной связью по скорости непосредственно в контур управления сервопривода позволяет создать контур управления, обеспечивающий в малом любые желаемые переходные характеристики.[1]

Более того, небольшое усложнение наблюдателя дополнительным интегратором реализует структуру фильтра Калмана-Бьюси с оценкой эквивалента суммарного воздействия внешних возмущений. Компенсирующий сигнал с выхода дополнительного интегратора подаётся на вход объекта управления и обеспечивает астатизм системы управления по возмущению без увеличения порядка астатизма по управлению.[2]

## I. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕННОГО АЛГОРИТМА

При проектировании сервопривода наблюдатель настраивается по сигналам датчика угла, в качестве которого обычно используется энкодер, измеряющий угол в связанной системе координат. Поэтому выходные сигналы наблюдателя и контура управления привязаны к связанной системе координат. Представляет практический интерес построение системы управления, работающей в инерциальной системе координат. Для этого необходимо привязать наблюдатель к инерциальному датчику. А так как с установкой инерциально-

го датчика угла могут быть проблемы, в работе предлагается использовать гироскоп как инерциальный датчик угловой скорости. Структура наблюдателя изменится следующим образом: коэффициенты модального регулятора контура управления в дополнительной строке матрицы  $C$  не меняем, сохраняя тем самым динамику контура управления; сигнал ошибки контура оценивания формируем по разности сигналов гироскопа и угловой скорости модели в наблюдателе, коэффициенты модального регулятора контура оценивания в дополнительном столбце матрицы  $B$  не изменяем, тем самым сохраняем его собственную динамику, также как и динамику контура управления.

Платой за такую перестройку структуры наблюдателя будет исчезновение астатизма по возмущению, что соответствует появлению статической ошибки угловой координаты. Для устранения ошибки предлагается усложнить оценщик и компенсатор возмущений. К имеющемуся в структуре наблюдателя интегратору предлагается подключить последовательно ПИ-регулятор с выходом на объект управления.

## II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование сервопривода с изменённой структурой наблюдателя, подключённого к гироскопу, подтвердило сохранение оптимальности по быстродействию переходных процессов как по управлению, так и по возмущению. Моделирование также подтвердило и устранение статической ошибки угловой координаты в процессах по возмущению в схеме контура оценивания с двумя интегральными регуляторами.

1. Хаджинов, М. К. Компенсация сигнальных и параметрических возмущений на основе анализа ошибки контуров оценивания / М. К. Хаджинов, А. В. Павлова, А. Т. Доманов // Материалы международной научной конференции «Информационные технологии и системы» (ИТС 2015). – 2015.
2. Хаджинов, М. К. Сервоприводы с квадратичной обратной связью по скорости / М. К. Хаджинов, А. В. Павлова, А. Т. Доманов // Материалы международной научной конференции «Информационные технологии и системы» (ИТС 2017). – 2017.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПАРАЛЛЕЛИЗМОМ ПОВЕДЕНИЯ НА УРОВНЕ ТРАНЗАКЦИЙ

Черемисинов Д. И., Черемисинова Л. Д.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {cher, cld}@newman.bas-net.by

*Описывается объектно-ориентированный подход к моделированию описаний устройств управления с параллелизмом поведения на уровне транзакций. Предлагается метод преобразования описания алгоритма поведения системы управления в модель TLM (Transaction-Level Modeling) уровня транзакций.*

## ВВЕДЕНИЕ

Важным этапом проектирования управляющих систем является этап функциональной верификации, в процессе выполнения которого устанавливается, реализует ли спроектированное устройство желаемое поведение, т. е. работает ли оно согласно установленным в его спецификации требованиям. Самым распространенным подходом к верификации в настоящее время является имитационное моделирование, которое производится в рамках тестовой системы, позволяющей генерировать тестовые последовательности и производить проверку правильности поведения модели тестируемой системы.

Наиболее развитыми подходами и средствами разработки функциональных тестов в настоящее время являются технологии AVM (Advanced Verification Methodology) компании Mentor Graphics и OVM (Open Verification Methodology) компаний Mentor Graphics и Cadence Design Systems на основе языков SystemVerilog или SystemC. При разработке тестовых систем для отладки проектов аппаратуры в рамках этих технологий предполагается: объектно-ориентированный подход, моделирование на уровне транзакций (TLM) и направленная генерация псевдослучайных стимулов (constraint-random generation — генерация на основе ограничений).

В настоящей работе рассматривается задача верификации систем, характеризующихся параллелизмом поведения и непрерывным (и в общем случае бесконечным) обменом сигналами с внешней средой в процессе их функционирования. Спецификация на проектирование систем с параллелизмом поведения задается на языке ПРАЛУ описания параллельных алгоритмов управления. Предлагается модель TLM для описаний устройств с параллелизмом поведения и метод преобразования описания алгоритма на языке ПРАЛУ в модель TLM.

## I. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ НА УРОВНЕ ТРАНЗАКЦИЙ

Наиболее популярным языком моделирования уровня TLM является SystemC (стандарт

IEEE 1666), представляющий расширение языка C++. Исполняемая программа, получаемая в результате компиляции модели на языке SystemC, реализует симулятор с интегрированными средствами управления имитацией.

Модель верифицируемого проекта аппаратуры описывается набором последовательных процессов — потоков, которые выполняются одновременно (параллельно). Атомарные операции процессов задаются транзакциями, работающими на общей памяти. Транзакции линеаризуются в процессе их выполнения таким образом, чтобы обеспечивать детерминизм результата выполнения операций над общими данными несколькими параллельными процессами. Синхронизация процессов модели TLM на уровне транзакций осуществляется в SystemC барьерным механизмом. Барьерами являются точки исходного кода, в которых каждый процесс должен приостановиться и подождать достижения барьера всеми параллельными процессами выполняемой группы потока. Изменения значений, запланированные в процессах группы, в общей структуре данных происходят мгновенно после достижения барьера всеми процессами.

## II. TLM МОДЕЛЬ ОПИСАНИЙ СИСТЕМ НА ЯЗЫКЕ ПРАЛУ

Алгоритм управления на ПРАЛУ представляется неупорядоченной совокупностью линейных цепочек  $l_i$  операций языка, каждое из которых открывается метками из множества  $\mu_i$  и заканчивается метками из  $\nu_i$  перехода:  $\mu_i: l_i \rightarrow \nu_i$ . Основными в языке являются операции ожидания  $-k^{in}$  и действия  $> k^{out}$  над двоичными переменными. Первая сводится к ожиданию момента времени, когда конъюнкция  $k^{in}$  примет значение 1, вторая — к присвоению переменным из конъюнкции  $k^{out}$  значений, обращающих ее в 1. Порядок выполнения цепочек алгоритма управления в процессе его реализации определяется множеством запуска, его текущие значения  $N_t$  задают метки тех цепочек, которые могут выполняться одновременно. Если для цепочки  $\mu_i: l_i \rightarrow \nu_i$  выполняется условие  $\mu_i \subseteq N_t$  и реализуется событие

$k^{in}$ , с ожидания которого начинается цепочка  $l_i$ , то она запускается.

В работе используется модель параллелизма операций типа «чередование», в которой одновременность понимается как возможность упорядочивать операции произвольным образом. В такой интерпретации алгоритм на ПРАЛУ обладает свойством линеаризуемости, т.е. результат параллельного выполнения операций алгоритма эквивалентен некоторому последовательному выполнению атомарных операций.

Ключевые понятия TLM модели для описаний на языке ПРАЛУ состоят в следующем:

1. Структурой данных является вектор значений переменных: внешних (входных (условных) и выходных) и внутренних. Каждая компонента вектора задает пару значений одной переменной: текущего и планируемого.

2. Транзакции представляются операциями алгоритма, которые представляются в виде композиций некоторых элементарных операций, выполняемых последовательно. Реализация операции  $-k^{in}$  состоит в выполнении операции приостановки процесса и проверки текущих значений переменных, указанных в конъюнкции  $k^{in}$ . Реализация операции  $> k^{out}$  заключается в становке планируемых значений переменных, указанных в конъюнкции  $k^{out}$ .

3. Цепочки операций языка ПРАЛУ интерпретируются как процессы модели TLM. Вводится понятие ветви, которая является динамическим объектом и задает последовательный процесс, начинающийся с некоторой операции. Образование ветви заключается в занесении первой ее операции в очередь ветвей, готовых для выполнения (ОГ). Прекращение ветви состоит в переносе ее из ОГ в очередь ветвей, ждущих выполнения (ОЖ). Введенные приведенным способом ветви аналогичны потокам в модели TLM на языке SystemC.

4. При моделировании алгоритма управления из ОГ последовательно извлекаются ветви и выполняются до приостановки. Выполнение ветви приостанавливается, когда ее начальный фрагмент  $-k^{in}$  не может выполняться на множестве текущих значений переменных и тогда ветвь переносится в ОЖ. Иначе после ее выполнения в ОЖ вносится ветвь, начинающаяся с операции, которая должна выполняться в этой ветви следующей.

5. Синхронизация параллельно выполняемых ветвей осуществляется с помощью барьерного механизма, который фиксирует такты моделирования и изменения значений переменных. Точки барьера задаются операциями приостановки выполнения всех ветвей. Барьер достигнут, когда ОГ становится пустой, тогда ветви из ОЖ переносятся в ОГ; выгружаются значения выходных переменных; накопленные планируемые значения

пересылаются в текущие; вводятся (если система незамкнута) новые значения входных переменных и запускается выполнение первой ветви из ОГ.

### III. РЕАЛИЗАЦИЯ СИМУЛЯТОРА TLM МОДЕЛЕЙ НА ЯЗЫКЕ ПРАЛУ

Преобразование описания алгоритма на языке ПРАЛУ в модель TLM осуществляется путем представления операций языка в виде композиций предлагаемых элементарных операций, которые выполняются строго последовательно и составляет базис алгоритмического разложения параллельных алгоритмов на языке ПРАЛУ. Набор включает операции приостановки ветви и алгоритма; перехода и запуска заданного множества ветвей; прекращения процесса выполнения ветви по условию; проверки условных переменных; установки выходных переменных; установки и сброса переменных синхронизации; установки и сброса переменных маски.

Основопологающим моментом при моделировании TLM модели алгоритмов на языке ПРАЛУ является соглашение о длительности выполнения операций языка, в частности операции действия. Это существенно влияет на степень соответствия изменений сигналов, производимых симулятором и появляющихся на выходах программной или схемной реализации алгоритма. В настоящей версии программы симулятора принята нулевая длительность операций. В этом случае вычисления по одной ветви выполняются до тех пор, пока для их продолжения не потребуется изменение состояний условных переменных, т.е. пока операция ожидания может выполняться на множестве текущих значений переменных. Достижение барьера при моделировании алгоритма фиксирует такты работы устройства, а полученные изменения значений выходных переменных (отмеченные в векторе планируемых значений) соответствуют изменениям значений сигналов на выходах схемной реализации алгоритма управления при подаче на ее входы значений сигналов, соответствующих значениям в векторе текущих значений.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена модель TLM для моделирования описаний систем управления на языке ПРАЛУ, а также метод преобразования этих описаний в программу на промежуточном языке, которая выполняется строго последовательно. Разработаны трансляторы этой программы на языки Verilog и C, результаты компиляции которых на машинный язык представляют собой программы имитационного моделирования заданной системы управления. Исходными данными для программ имитационного моделирования служат тестовые последовательности.

# ON THE PROBLEM OF INCONSISTENCY IN MANY-VALUED LOGICS

German J. O., German O. V., Semizhon E. A.  
Information technology and control department,  
The Belarusian State university of informatics and radio-electronics  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: juliagerman@gmail.com

*It is considered a three-valued logical system with a subject area containing three values: 0, 1, 0.5. A three-valued formula is introduced — an analogue of the well-known statement in the liar's paradox. Assuming the axiom about the uniqueness of the truth value of the formula (that is, 0, 1 and 0.5), we obtain a paradox. A brief discussion of the result and conclusions is provided.*

## INTRODUCTION

It is known that the inconsistency of a logical theory makes it possible to derive any formula in it, which makes such a theory little acceptable for practice. One way out is to use para-consistent logic (s), for example [1–5]. In such logic, the system may be inconsistent, but not all formulas in it, including the false one, are deducible.

In essence, para-consistent logic is a meta-logic, that is, its formulas evaluate the formulas of subject theories, for example, true ( $2 + 2 = 4$ ). The mathematical power of para-consistent logic (s) seems weaker compared to the calculus about which they draw conclusions, but this reasoning requires quite a deep consideration. Another way out is to use many-valued logical calculi, for example, the logic of J. Lukasiewicz or fuzzy logic [6,7].

Thus, in the three-valued logic of J. Lukasiewicz, the formula  $f \wedge \neg f$  has the value 0.5 (undefined), which is not 0 (false), as in standard propositional logic. At first glance, it can be assumed that this solves the problem of paradox (es). However, as we will show below, this is not the case. Thus, we can assume that the problem of paradoxes remains valid for any many-valued logical systems, including infinite-valued fuzzy logic.

### I. LIAR'S PARADOX AND ITS GENERALIZATION

Let us give some preliminary definitions.

**Definition.** A contradiction in logic is a situation when, given an assumption (hypothesis) about the meaning of a particular formula, as a result of logically correct reasoning (conclusions), we come to the conclusion that the assumption was incorrect.

**Definition.** A formula of logical calculus is called contradictory if it cannot be assigned either a false or a true meaning without causing a contradiction.

**Definition.** A paradox in logic is a situation when, under an assumption (hypothesis) about the true meaning of a particular formula, as a result of logically correct reasoning (conclusions), we come to the conclusion that this formula must be false, and on the contrary, with an assumption (hypothesis) about the false meaning of the same formula, as a

result of logically correct reasoning (conclusions), we come to the conclusion that this formula must be true.

Paradoxes in general do not mean that a particular theory is incorrect, but their presence can lead to incorrect conclusions. They serve as an important tool for analyzing and enhancing theories, stressing the necessity to clarify and revise logical system and its philosophical or formal premises.

The well-known liar's paradox consists in the statement that a formula that asserts its own falsity can be neither true nor false, that is, the statement: this formula is false is an example of a paradox. We will use the fact that each formula of logical calculus can be assigned a unique number due to the well-known diagonalization lemma of K. Godel [2]. Let the statement be *false* (this formula) with Godel number  $z$ . Then *false* ( $z$ ) is a statement about the falsity of a formula with number  $z$ , which refers to itself, and therefore can be neither true nor false.

Let's consider the three-valued version:  $val(x,y)$ , where  $val(x,y)$  evaluates the truth of the formula with number  $x$ , and  $y$  is the measure (value) of truth indicated for the formula with number  $x$ . For example,  $val(1=1, 0.5)$  evaluates the truth measure of the statement that the truth measure of the formula  $1=1$  is equal to 0.5. Since  $1=1$  in reality, the estimate 0.5 is incorrect in the strict sense, so it is fair to assume that  $val(1=1, 0.5)=0$ . Such reasoning is related to the formal model used, however. On the other hand, the formula  $val(1=0.5, 0.5)$  can be evaluated, for example, as 1.

We accept the following **axiom** as a premise: a formula that has more than one truth value is inconsistent, that is, the truth value of a formula can only be one of three: 0, 0.5, 1. Refusal of this **axiom** gives a different perspective and goes beyond the scope of our discussions. In connection to this **axiom**, each formula which has two or more truth values is considered contradictory.

Consider a formal model in which only three numbers occur: 0, 0.5 and 1.

Let's define fuzzy measures for equalities:  $0=0$ ,  $1=1$ ,  $0.5=0.5$  all have a measure of 1.  $0=0.5$ ,  $1=0.5$  have a truth measure of 0.5.  $1=0$  has a truth degree of 0. Let the formula  $val(x,0.5)$  evaluate the validity

of the statement that the formula with number  $x$  has a truth degree of 0.5. Let this formula itself, which we denote by  $W$ , have the number  $w$ .

Let's find out what the value of  $val(w,0.5)$  is. Let  $val(w, 0.5)=0.5$ . But  $0.5=0.5$ , that is, the formula  $W$  with number  $w$  has a truth value of 1, which gives a contradiction due to the **axiom**. Let  $val(w=0.5)=1$  (0). But 0.5 is not equal to 1 (0), which gives an uncertainty value of the type  $1=0.5$  or  $0=0.5$  in the formal system under consideration, that is,  $val(w=0.5)$  should in this case change the answer to 0.5. And this is a true statement with a score of 1. Again, one gets a contradiction, and we have a paradox.

This reasoning also uses K. Godel's diagonalization lemma. Here is its wording:

For any formula  $h(x)$  in language  $L$  that contains a single free variable  $x$ , there is a formula  $diag(h)$  in  $L$  such that:

1.  $diag(h)$  is equivalent to the formula  $h(g)$ , where  $g$  is the number of the formula  $diag(h)$ .
2. The formula  $diag(h)$  speaks about itself, i.e. it states that a formula numbered  $g$  has the property asserted by  $h$ .

In our case, the only free variable in the formula  $val(w,0.5)$  is  $w$ .

## II. DISCUSSION OF THE RESULT

The reasons for logical paradoxes are different. Here are some of them [8]: unacceptable applicability of formulas to themselves, an attempt to expand a completed set, a change in reality (other reasons and their combinations are possible). The case considered in the article relates to unacceptable self-applicability. We did not set out to consider how to prevent this kind of paradox. In the general case, many-valued logics are specifically focused on preventing paradoxes. In our case, the axiom used can be considered as an obstacle to correct reasoning, since the obtained result does not remove from the agenda the question of the inconsistency of a particular formal system and the presence of paradoxical formulas in it, since such formulas do not generally allow decisions to be made in a deterministic way. They are looking for a way out in ambiguity and para-consistency. The presented ma-

terial can substantiate doubts about the freedom of many-valued logics from inconsistency. In this case, the axiom we used is significant. It does not allow two or more different conclusions about the truth of formulas to be done. This is important, for example, in technical systems where control is implemented along one trajectory, and not simultaneously along several others. If we take the use of meta-theories as the basis for confronting inconsistency (paradoxical character), then questions arise about the resolving power of these meta-theories. These questions are relevant and need to be studied.

## III. CONCLUSION

Many-valued logics are supposed to be free from paradoxes because they use the value 0.5 for this kind of situation. We have shown that the three-valued logic of J. Lukasiewicz contains an example of a paradoxical formula. A similar argument can be formulated for logics with more than 3 truth values. This last issue state some research direction, especially with regards to fuzzy logic. For the last, for instance, it is known that modus ponens inference rule may not be valid in every case as produces incorrect conclusion. That is why para-consistent fuzzy logics may take the front-line positions.

## IV. REFERENCES

1. Logical Studies of Paraconsistent Reasoning in Science and Mathematics. / Holger Andreas, Peter Verdee (editors) // Springer, 2016.
2. Wong, P. Paraconsistent Inference and Preservation / P. Wong, Workshop on Logic in Computing Science. Univer. of Technology, Sydney, 1998.
3. Carnielli, W., Coniglio, M. Paraconsistent Logic: Consistency, Contradiction and Negation / W. Carnielli, M. Coniglio. Springer, Dordrecht, 2016.
4. French, R. Structural Reflexivity and the paradoxes of self reference / R. French. Ergo 3(5), 2016, p.p.113-131
5. Woods, J. Paradox and Paraconsistency. Conflict Resolution in the Abstract Sciences / J. Woods. Cambridge Univ. Press. 2003. p.20.
6. Bergmann, M. Introduction to Many-Valued and Fuzzy Logic: Semantics, Algebras and Derivation Systems / M. Bergmann. Cambridge Univ. Press. 2008. p.20.
7. Gabbay, D., Guentherer, F (Editors). Handbook of Philosophical Logic / vol.2. Kluwer, Dordrecht, 2001.
8. German, O. V. Neklassicheskie logicheskie ischislenia [Non-classical logical calculi] / O.V. German. Minsk, BSUIR. 2012. 124s. (In Russian)

Секция «Интеллектуальные  
информационные технологии»

Section «Intelligent Information  
Technologies»



# ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОХОДКИ

Дин Аоди, Недзведь А. М.  
Кафедра информационных систем управления  
Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: aodiding541@gmail.com, nedzveda@tut.by

*Болезнь Паркинсона – распространенное заболевание пожилых людей, и стоимость использования профессионального оборудования и медицинского персонала для выявления нарушений походки всегда высока. В этой статье Alpharose используется для анализа видеозаписи походки пациента в переднем и боковом ракурсах, чтобы извлечь двумерную последовательность координат костей и суставов, а данные о походке предварительно обрабатываются для извлечения характеристик походки. Для получения характеристик используются фильтры нижних частот, частота походки и другие методы, и различные классификационные модели KNN, Random-Forest и MLP используются для сравнения результатов различных классификационных моделей, и для прогнозирования заболевания выбирается модель с наибольшей точностью.*

## ВВЕДЕНИЕ

Болезнь Паркинсона – дегенеративное заболевание. Ручной анализ данных о ходьбе требует участия хорошо подготовленных специалистов, и результаты оценки необязательно объективны. Наша цель предложить недорогой автоматический инструмент для раннего прогнозирования, эффективного лечения и мониторинга заболеваний мышц. Современный усовершенствованный метод заключается в использовании визуальной модели для анализа структуры кости, получении прогноза последовательности походки с помощью структуры кости и использовании модели классификации обучения последовательности походки для прогнозирования выявленных заболеваний. В этом эксперименте используются различные классификационные модели для выбора оптимальных результатов в качестве основной модели данного эксперимента.

### I. ПОДГОТОВКА ДАННЫХ

На этот раз в качестве экспериментальных данных использовались база данных походки CASIA-B и данные о походке пациентов с болезнью Паркинсона[1]. Данные о походке были получены из 11 просмотров. Три изменения угла обзора, одежды и условий ношения рассматривались отдельно. Определите 26 важных узлов костей человека и выберите из базы данных передние и боковые углы каждой из данных о походке, чтобы проанализировать движение походки.

### II. МОДЕЛЬ YOLO-ALPHAROSE

YOLO-AlphaPose – это комбинация YOLO в качестве детектора. AlphaPose делает прогноз ориентации на основе результатов YOLO. Если мы сталкиваемся с несложной сценой с небольшим количеством людей в кадре, YOLO-AlphaPose достаточно хорош в своей работе. AlphaPose состоит из нескольких остаточных модулей и по-

нижающей дискретизации/модули повышающей дискретизации. В модуле мы создаем структуру путем рекурсивного объединения остаточных модулей. Остаточный модуль включает в себя слой нормализации, слой пакетной нормализации и функцию активации, которые используются для извлечения объектов и сохранения подробной информации. Модули понижающей и повышающей дискретизации используются для понижающей и повышающей дискретизации объектов для извлечения признаков и прогнозирования в различных масштабах[2]. Теперь давайте представим функцию расстояния: смотрите формулу 1.

### III. ПОЛУЧИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКАХ

ratioR это соотношение между измеренным расстоянием шага и расстоянием от носа до ягод, рассчитанным на основе последовательности движений стопы в суставах[3].

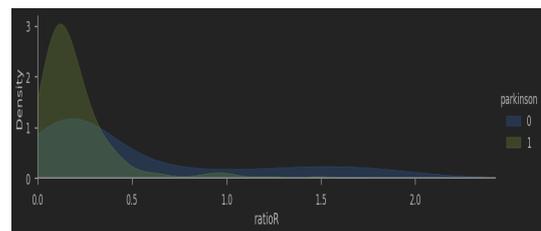


Рис. 1 – особенности ratioR

Из значений карты признаков ratioR мы можем ясно видеть, что среднее значение для пациентов с болезнью Паркинсона составляет около 0,2, а для нормальных людей – около 0,5. Следовательно, характерные данные соотношения могут быть использованы для прогнозирования пациентов с болезнью Паркинсона. Данные о характеристиках Turning duration рассчитывают длину бедра и плеча для всех кадров, затем вычисляют разницу между максимальным и минимальным циклами походки и равномерно распределяют ре-

зультаты расчета разницы по значению кадра[4]. Значение кадра в этом эксперименте равно 30.

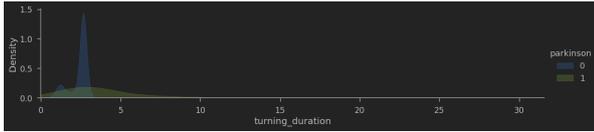


Рис. 2 – особенности Turning duration

Из рисунка мы можем видеть, что собственные значения продолжительности поворота сильно различаются у пациентов с болезнью Паркинсона и без нее, и можно четко различить две различные ситуации.

#### IV. СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Для прогнозирования течения болезни пациентов с болезнью Паркинсона используются три классификационные модели. Мы получили нижеприведенную форму.

Таблица 1 – Точность прогнозирования модели

модель	KNN	Random-Forest	MLP
Точность	0.8143	0.8857	0.8571

Из трех моделей классификации можно видеть, что модель классификации random Forest достигла хорошего результата прогнозирования в 88.57% в этом эксперименте. Этот результат выше, чем у моделей MLP и KNN, поэтому лучше всего использовать модель randomForest для прогнозирования обнаружения и классификации походки.

В соответствии с моделью randomForest, различные оценочные показатели, полученные с использованием модели матрицы путаницы

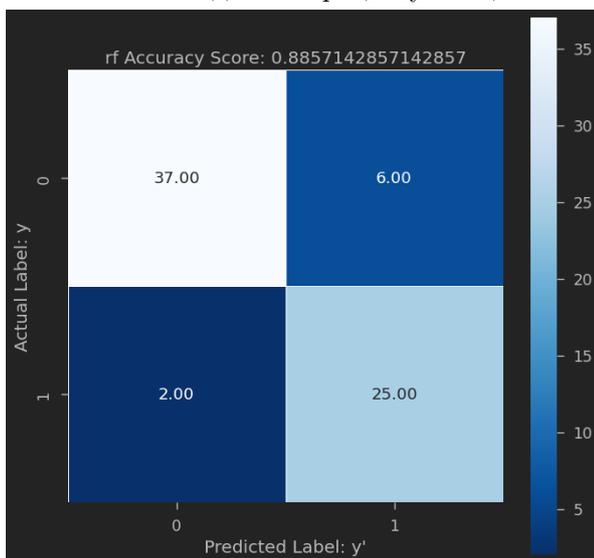


Рис. 3 – Оценка результатов пациентов

Из результатов, приведенных на рисунке выше, можно сделать вывод, что показатель точности прогнозирования пациентов с болезнью Паркинсона достиг 88.57%. Значение отзыва для нормальных людей составляет 0,8605, а значение отзыва для пациентов с болезнью Паркинсона - 0,9259. randomForest может выполнить эту задачу и достичь очень высоких результатов. хорошие результаты предсказания получаются при экспериментальном сравнении.

#### V. ВЫВОД

В этом эксперименте данные о последовательности походки были получены с помощью YOLO-alphaPose для оценки ключевого положения костей в данных о походке. Математические методы были использованы для расчета 6 характеристик походки на основе данных о последовательности походки, и, наконец, для прогнозирования результатов сравнения была использована модель классификации randomForest. Тестирование метода проводилось с использованием набора данных о походке CASIA-B, и результат предсказания классификации randomForest составил 88.57%, а показатель точности превзошел модели KNN и MLP. В этом эксперименте характеристики походки, костей и суставов были использованы для успешного выполнения задачи прогнозирования выявления заболеваний.

#### VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mahlknecht, P. Prevalence and burden of gait disorders in elderly men and women aged 60–97 years: a population-based study / P. Mahlknecht, S. Kiechl, B. R. Bloem // PLoS. One. –2013. –Vol. 112, –P. 703–709.
2. Fang, H., RMPE: Regional Multi-Person Pose Estimation. Computer Science.. / H.. Fang, Tai., Y., lu, C.. // PLoS. One. –2016. –Vol. 54, –P. 12–16.
3. Aich, S. A machine learning approach to distinguish parkinson's disease patient's with shuffling gait from older adults based on gait signals using 3d motion analysis. / Pradhan, P.M., Park, J., Kim, H.C. Int. J. Eng. Technol // 7(3.29), 153–156 (2018)
4. Ramachandran. Deep learning an overview. International Journal of Applied Engineering Research / Ramachandran, R., Rajeev, D., Krishnan, S., Subathra // –2015. –Vol. 12, –P. 54–56.

$$d(P_i, P_j | \Lambda) = K_{\text{Sim}}(P_i, P_j | \sigma_1) + \lambda H_{\text{Sim}}(P_i, P_j | \sigma_2) \quad (1)$$

# НЕЙРОННЫЕ СЕТИ КАК ПЕРЕДОВОЙ ИНСТРУМЕНТ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Банкевич Я. Д., Рублевская Е. А., Сергиевич Д. П.  
Кафедра интеллектуальных информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: bankevi4@gmail.com, katerublevsk@icloud.com, dasha3756210@gmail.com

*В работе рассматривается проблема применения нейросетей в социальных сетях. Описываются основные задачи и проблемы использования нейросетей в социальных сетях, а также возможные пути их устранения.*

## ВВЕДЕНИЕ

В эпоху информационного общества нейронные сети стали ключевым фактором в повседневной жизни и находят широкое применение в различных областях, включая социальные сети. Развитие технологий позволило им стать важным инструментом для анализа данных, персонализации контента, модерации и автоматизации процессов в социальных платформах. Целью работы является выявление наиболее перспективных направлений применения нейросетей в социальных сетях и выявление проблем, которые порождают их активное применение в соцсетях.

## I. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Особое место в Интернете занимают социальные сети. Социальную сеть можно назвать социальной структурой, состоящей из группы узлов, которыми являются социальные объекты (люди, сообщества, организации) и связей между ними (социальными взаимоотношениями).

В социальных сетях часто используются нейронные сети, важной их отличительной чертой является то, что принцип их действия сильно отличается от классических методов решения задач прогнозирования, классификации и управления. Нейронная сеть – это набор нейронов, определенным образом связанных между собой.

Можно наблюдать структурное сходство социальных сетей с нейронными. В качестве нейронов можно рассматривать отдельных пользователей. В данной статье рассматриваются наиболее часто применяемые направления, используемые социальными платформами, а именно:

- *Модерация контента.* Системы на основе нейросетей помогают блокировать нежелательный контент (спам, фейковые новости и угрозы), что позволяет улучшить качество взаимодействия пользователей.
- *Анализ и персонализация контента.* Анализ и персонализация контента – это использование нейросетей для анализа пользовательского поведения и предпочтений, что позволяет платформам создавать более персонализированные предложения.

## II. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ НЕЙРОСЕТЕЙМИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

С развитием медиакультуры встала острая необходимость контроля контента, публикуемого пользователями в социальных сетях. Изначально модерацию выполняли специально обученные сотрудники, но с увеличением объема данных ручная проверка стала неэффективной. Сейчас нейронные сети активно используются в процессе мониторинга, фильтрации и просмотра контента, созданного пользователем, для предотвращения распространения оскорбительных, вредоносных и нелегальных материалов. Это значительно повысило скорость и точность модерации в условиях постоянно растущих объемов информации. Например, по словам Марка Цукерберга, главного исполнительного директора Meta, более 95% оскорблений и разжигания ненависти, а также как минимум 98% террористического контента идентифицируется и удаляется ИИ [1].

Можно выделить несколько основных направлений, в которых используются нейросети при модерации контента:

- *Анализ изображений и видео.* Нейросети проверяют визуальный контент на предмет наличия запрещенных символов или жестов, нарушающие правила платформы [2].
- *Обработка естественного языка.* Технологии NLP позволяют алгоритмам распознавать и анализировать текстовый контент, выявляя вредоносные или оскорбительные сообщения [3].
- *Распознавание фейковой информации.* Алгоритмы искусственного интеллекта сопоставляют информацию с официальными и подтвержденными источниками, уменьшая распространение ложной информации на различных платформах [4].

Таким образом, нейросети помогают социальным сетям эффективно проверять и редактировать большие объемы данных, минимизируя распространение вредоносной информации.

Одним из важнейших инструментов в этой сфере является использование систем рекомендаций, которые позволяют предугадывать предпочтения пользователя и предоставлять ему реле-

вантный контент. Персонализированные рекомендации усиливают вовлеченность пользователей и повышают эффективность рекламы.

### III. ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Несмотря на значительные преимущества использования методов искусственного интеллекта для модерации контента в социальных сетях, существуют серьезные проблемы:

- *Необходимость человеческого участия в модерации.* Нейросети не всегда могут точно классифицировать сложные случаи – здесь требуется участие специалиста.
- *Отсутствие ясных критериев блокировки и обратной связи платформы.* Нейронные сети настроены лишь на распознавание запрещенного контента. Это часто приводит к проблеме, когда пользователи не понимают, за что именно была заблокирована их публикация, т.к. алгоритмы не способны объяснить свои решения.
- *Понимание тонкостей языка.* Из-за неспособности уловить эти языковые нюансы публикации могут быть ошибочно отнесены к оскорбительным или неподобающим.
- *Риски частной жизни пользователей.* Для того, чтобы эффективно персонализировать контент, платформы собирают огромные объемы информации, включая личные предпочтения, историю поисков и даже данные о местоположении [5]. Это создает риски для частной жизни пользователей, что вызывает обеспокоенность у общественности и регулирующих органов.

### IV. ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПРИМЕНЕНИЯ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

С развитием технологий нейронных сетей персонализация будет становиться все более точной и сложной. В отчете McKinsey [1] подчеркивается, что будущее за персонализированными платформами, которые будут адаптироваться не только к текущим интересам пользователей, но и предсказывать их будущие предпочтения на основе глубокого анализа данных. Однако в этом контексте важен вопрос ответственности – необходимо создать прозрачные и этичные механизмы использования данных и построения алгоритмов, чтобы избежать негативных последствий для пользователей, например, такие как:

- Комбинация автоматической модерации на основе нейросетей с ручной проверкой специалистами. Это важно для сложных случаев, где требуется понимание культурных и языковых особенностей [7].
- Создание организаций, которые будут проверять алгоритмы на предмет предвзятости

и дискриминации, что повысит доверие пользователей к платформам [8].

- Стандартизация, требующая от компаний раскрытия информации о том, как работают их алгоритмы. Это позволит пользователям лучше понимать, как обрабатываются их данные и какие факторы влияют на принимаемые решения [9]. Использование технологий с помощью которых объясняются алгоритмы нейронных сетей, позволит пользователям лучше понимать, как принимаются решения [10].

### V. ВЫВОДЫ

Нейросети способствуют улучшению аналитики социальных сетей. Они позволяют автоматизировать процесс сбора и анализа данных о поведении пользователей, выявлять тенденции и закономерности, а также прогнозировать результаты будущих действий. Однако недостаток данных, невозможность отслеживания ошибок, а также этические и юридические вопросы могут затруднить эффективное применение нейросетей в практике. Тем не менее, можно ожидать дальнейшего усовершенствования нейросетей и их широкое применение в различных сферах деятельности. Ключевым аспектом будет поиск баланса между использованием инновационных технологий и обеспечением этики и безопасности для всех участников процесса.

1. Lamarre E., Smaje K., Zimmel R. Rewired: the McKinsey Guide to Outcompeting in the Age of Digital and AI. – John Wiley & Sons, 2023.
2. Amazon Rekognition [Electronic resource]. – Mode of access: <https://aws.amazon.com/ru/rekognition>. – Date of access: 18.10.2024
3. Google Cloud Natural Language API [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cloud.google.com/natural-language>. – Date of access: 18.10.2024
4. Full Fact [Electronic resource]. – Mode of access: <https://fullfact.org>. – Date of access: 18.10.2024
5. Spohr D. Fake news and ideological polarization: Filter bubbles and selective exposure on social media // Business information review. – 2017. – Т. 34. – №. 3. – С. 150-160.
6. Роль ИИ в модерации контента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fastercapital.com/ru/content>. – Дата доступа: 18.10.2024.
7. Llansó E. et al. Content Moderation, and Freedom of Expression // Algorithms. – 2020
8. Полное руководство по прозрачности ИИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/Zh6PCjZT7FHANc8P>. – Дата доступа: 18.10.2024
9. Достижение алгоритмической прозрачности и управление рисками информационной безопасности при принятии решений без вмешательства человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lawjournal.digital/jour/article/view>. – Дата доступа: 18.10.2024
10. Этика ИИ: предвзятость, справедливость и прозрачность в принятии решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aimarketingengineers.com/ru>. – Дата доступа: 18.10.2024

# АРХИТЕКТУРНОЕ РЕШЕНИЕ ПОСТРОЕНИЯ RAG-СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ LANGCHAIN И ГРАФОВОЙ БАЗЫ ДАННЫХ NEO4J

Батура М. П., Кулевич А. О.

Кафедра информатики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: bmpbel@bsuir.by, kulevich.01@gmail.com

*В статье описывается методология создания RAG-системы анализа данных с использованием графовой базы данных Neo4j и библиотеки LangChain. Рассматриваются этапы построения и применения конвейера для разработки и использования RAG-моделей, ориентированных на обработку и анализ текстовых данных. Приводятся примеры работы системы, демонстрирующие её способность находить ответы на вопросы на основе контекстного поиска и векторного сходства, а также интеграцию с LLM для повышения точности и гибкости анализа.*

## ВВЕДЕНИЕ

Современный объём и сложность данных, с которыми работают организации, быстро растут, делая анализ данных ключевым инструментом для принятия решений и повышения эффективности. Анализ данных позволяет выявлять закономерности и прогнозировать события, однако остаются проблемы, такие как большой объём и неоднородность данных.

Методы искусственного интеллекта решают эти проблемы, ускоряя обработку данных и выявляя скрытые паттерны. Алгоритмы машинного обучения позволяют анализировать как структурированные, так и неструктурированные данные.

Большие языковые модели (LLM), такие как GPT, обрабатывают текстовую информацию и генерируют ответы, что полезно для задач классификации и суммаризации. Технология Retrieval Augmented Generation (RAG) объединяет поиск и генерацию, извлекая релевантные данные и создавая на их основе ответы, повышая точность и скорость обработки информации [1].

## I. КОНФИГУРАЦИЯ ГРАФОВОЙ БАЗЫ ДАННЫХ И ЗАГРУЗКА ДАННЫХ

Для демонстрации анализа данных с использованием RAG-технологий были использованы документы с платформы Wikipedia [2], посвященные графовым базам данных. Для хранения и структурирования информации применялась графовая база данных Neo4j [3], которая отлично справляется с задачами организации и анализа структурированных данных в приложениях RAG. Важно отметить, что Neo4j поддерживает поиск по векторному индексу, что делает её подходящей для приложений RAG, основанных на неструктурированном тексте.

Для работы с векторными индексами Neo4j используется библиотека LangChain [4] — ведущая платформа для создания приложений, основанных на LLM (Large Language Models). LangChain объединяет возможности различных

поставщиков LLM, баз данных и других инструментов, что делает её универсальным решением для построения систем анализа данных. Она поддерживает процессы приёма данных, их индексирования, чтения и создания рабочих процессов, что особенно полезно при разработке чат-ботов и систем, отвечающих на вопросы на основе RAG-архитектуры.

В проекте была создана графовая база данных с помощью приложения Neo4j Desktop, а также установлены необходимые плагины — APOC (Awesome Procedures on Cypher) и Graph Data Science Library. Процесс чтения и разбиения статей с сайта Wikipedia, связанных с графовыми базами данных, был реализован с помощью библиотеки WikipediaLoader. Для последующего импорта полученных данных в Neo4j и их индексирования с использованием векторного индекса применялась библиотека Neo4jVector.

В результате в базе данных появились узлы, представляющие статьи о графовых базах данных, готовые для дальнейшего анализа. Несколько полученных узлов и свойства одного из них представлены на рисунке 1.

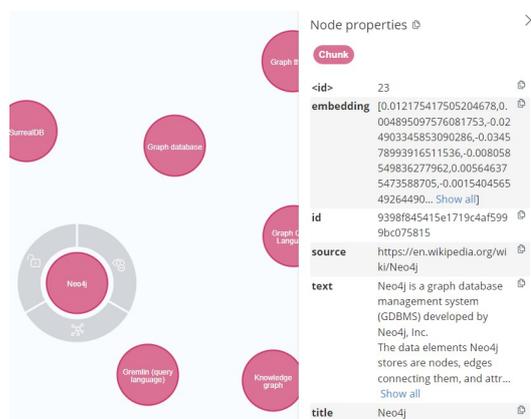


Рис. 1 – Узел и его свойства

## II. RAG СИСТЕМА АНАЛИЗА ДАННЫХ

На рисунке 2 представлен пример использования RAG-системы для поиска и предоставления ответа на основе векторного сходства. Этот метод измеряет схожесть между векторами в многомерном пространстве, позволяя анализировать и сравнивать объекты на основе их числовых характеристик. В данном примере был получен ответ на запрос: «Что такое графовая база данных Neo4j?».

```
query = "What is Neo4j graph database?"
results = neo4j_vector.similarity_search(query, k=1)
print(results[0].page_content)

Neo4j is a graph database management system (GDBMS) developed by Neo4j, Inc. The data elements Neo4j stores are nodes, edges connecting them, and attributes of nodes and edges. Described by its developers as an ACID-compliant transactional database with native graph storage and processing, Neo4j is available in a non-open-source "community edition" licensed with a modification of the GNU General Public license, with online backup and high availability extensions licensed under a closed-source commercial license. Neo also licenses Neo4j with these extensions under closed-source commercial terms. Neo4j is implemented in Java and accessible from software written in other languages using the Cypher query language through a transactional HTTP endpoint, or through the binary "Bolt" protocol. The "4j" in Neo4j is a reference to its being built in Java, however is now largely viewed as an anachronism.
```

Рис. 2 – Формулирование запроса и поиск векторного сходства

Библиотека LangChain использовала модель OpenAI для встраивания запроса и нахождения наиболее релевантных документов путём сравнения косинусного сходства между вектором вопроса и проиндексированными документами. LangChain также поддерживает рабочий процесс «вопрос-ответ», позволяя создавать системы, которые не только генерируют ответы на основе предоставленного контекста, но и указывают, какие документы использовались в процессе.

Кроме того, библиотека позволяет воссоздать интерфейс в стиле ChatGPT. При добавлении модуля памяти система получает возможность запоминать историю диалогов, что позволяет пользователю задавать уточняющие или последующие вопросы, основываясь на предыдущем контексте.

На рисунке 3 продемонстрирована работа системы: сначала на запрос «Что такое ACID?» был получен ответ, затем на последующий запрос «В каких базах данных он используется?» система также дала точный ответ, распознав контекст и связь с предыдущим вопросом.

```
print(qa.invoke({"question": "What is ACID?"})["answer"])

ACID stands for Atomicity, Consistency, Isolation, and Durability. It is a set of properties that guarantee that database transactions are processed reliably. Atomicity ensures that either all operations in a transaction are completed successfully, or none are. Consistency ensures that the database remains in a consistent state before and after the transaction. Isolation ensures that the execution of transactions concurrently does not interfere with each other. Durability ensures that once a transaction is committed, the changes made by the transaction are permanent and will not be lost, even in the event of a system failure.

print(qa.invoke({"question": "What databases is it used in?"})["answer"])

ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability) properties are commonly used in relational databases like MySQL, PostgreSQL, Oracle Database, SQL Server, etc. These databases are designed to ensure data integrity and reliability by following the ACID principles. Graph databases like Neo4j also implement ACID guarantees, making them suitable for transactional applications.
```

Рис. 3 – Работа системы с модулем памяти

Таким образом, векторный индекс, встроенный в Neo4j, эффективно обрабатывает как структурированные, так и неструктурированные данные, что делает его оптимальным решением для RAG-приложений.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было рассмотрено архитектурное решение для построения RAG-системы анализа данных с использованием графовой базы данных Neo4j и библиотеки LangChain. Описаны основные проблемы, возникающие при анализе данных, и подходы их решения с применением методов искусственного интеллекта и больших языковых моделей.

Разработка RAG-системы необходима для повышения эффективности обработки и анализа больших объемов данных, что становится особенно актуальным в условиях постоянного роста информационных потоков. Использование технологий RAG позволяет извлекать полезную информацию из разнообразных источников, улучшая качество принятия решений в различных областях, таких как бизнес, наука, медицина и другие. Приведенные примеры работы системы показали, как интеграция Neo4j и LangChain способствует ускорению получения ответов на запросы, что является важным для приложений, требующих быстрой реакции на изменения данных.

Таким образом, разработанная методология предоставляет мощные инструменты для создания аналитических систем, способных адаптироваться к различным типам данных и запросов, обеспечивая более глубокое понимание информации и поддержку принятия решений в сложных и динамичных условиях. Это позволяет организациям эффективно реагировать на вызовы современности и извлекать максимальную ценность из имеющихся данных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. What is Retrieval-Augmented Generation? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aws.amazon.com/whatis/retrieval-augmented-generation/?nc1=hls>. – Дата доступа: 15.10.24.
2. Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/>. – Дата доступа: 15.10.24.
3. Neo4j [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neo4j.com/labs/neosemantics/> Дата доступа: 15.10.24.
4. LangChain [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.langchain.com/>. – Дата доступа: 15.10.24.

# ОСОБЕННОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Гесман Н. Ю., Остров М. А.

Кафедра интеллектуальных информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: {gesmannikita, pro100mihail3}@gmail.com

*В работе рассматривается понятие интеллектуального интерфейса компьютерной системы, а также проблема универсализации данного понятия. Работа аргументирует и предлагает определение понятия интеллектуального интерфейса.*

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие интернета, увеличение объёма данных, а также развитие технологий искусственного интеллекта повысило важность исследования и проектирования интеллектуальных интерфейсов. Пользователи стали ожидать всё более удобного взаимодействия с системами, а в областях высокой конкуренции компании стремятся улучшить пользовательский опыт, что делает исследования интеллектуальных интерфейсов важными для повышения удовлетворенности клиентов. Интеллектуальные интерфейсы, основанные на технологиях искусственного интеллекта, предоставляют возможность пользователям без специальной подготовки эффективно решать профессиональные задачи с минимальной помощью. Исследования в этой области начались в 80-е годы прошлого века [1]. Несмотря на это, до сих пор отсутствует единое понятие интеллектуального интерфейса. Существующая парадигма предполагает, что пользователь должен уметь управлять системой, что требует его адаптации к различным интерфейсам. Однако, с развитием искусственного интеллекта, необходимо перейти к равноправному сотрудничеству между пользователем и системой. Тем не менее, большинство разработок интеллектуальных интерфейсов остаются исследовательскими или специализированными, а массовые системы по-прежнему используют традиционные графические интерфейсы.

### I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ

В рамках данной работы предлагается определить интеллектуальные интерфейсы компьютерных систем как интерфейсы, одновременно обладающие свойствами мультимодальности, адаптивности и интеллектуальности. Данные свойства являются ключевыми, однако их определение требует уточнения, что показал опрос, проведенный среди студентов специальности "Искусственный интеллект". Также рассмотрим свойство адаптированности интеллектуального интерфейса, так как с ним часто путают свойство адаптивности.

- Интеллектуальность – возможность предположить дальнейшие действия пользовате-

лей и представить информацию на основе этого предположения [2].

- Адаптивность – возможность изменяться на основе потребностей пользователя или контекста использования [2].
- Адаптированность – приспособленность под конечного пользователю при проектировании и не изменяется во время эксплуатации системы [2].
- Мультимодальность – возможность оперировать с пользователем языком, близким к естественному, а также интерпретировать пользовательское сообщение в виде некоторого плана подзапросов на специализированном языке [2].

Настройка адаптивного интерфейса интеллектуальной системы является динамическим процессом, то есть происходит в то же время, когда пользователь взаимодействует с системой, и зависит от поведения пользователя. Диалоговая структура и способы отображения информации зависят от определенных параметров. Такими параметрами могут быть уровень развития пользователя или, например, состояние окружающей среды [3]. В адаптируемом же интерфейсе интеллектуальной системы любая адаптация является предопределенной и может изменяться пользователями перед запуском системы. Важно заметить, что интеллектуальный интерфейс может быть одновременно как адаптивным, так и адаптируемым.

### II. КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ИНТЕРФЕЙСА

Среди преимуществ интеллектуального интерфейса можно отметить следующие:

- Благодаря своей мультимодальности, интеллектуальные интерфейсы позволяют пользователям проще выполнять поставленные задачи, тем самым повышая общую продуктивность и снижая временные затраты, а свойства адаптивного интерфейса, благодаря своему подстроению под пользователя, позволяют гибко настраивать его на работу с такой системой.
- Адаптивные интеллектуальные интерфейсы уменьшают количество информации, кото-

рую пользователю необходимо обработать, путем предоставления только релевантных данных, что снижает когнитивную нагрузку и уменьшает вероятность ошибки.

- Мультимодальные интеллектуальные интерфейсы могут быть настроены для удовлетворения потребностей различных групп пользователей, включая людей с ограниченными возможностями, за счет использования средств взаимодействия, таких как голосовые команды и жесты.

К недостаткам интеллектуальных интерфейсов можно отнести следующее:

- Создание интеллектуальных интерфейсов систем требует значительных ресурсов и времени, а также наличия высококвалифицированных специалистов.
- Существует возможность возникновения у пользователя чувства потери контроля над ситуацией. В адаптивных пользовательских интерфейсах возможным является возникновение некоторых неточностей в предсказании желаний и поведения пользователя, что в свою очередь может вызвать эффект явной или подсознательной неприязни со стороны пользователя системы.
- Интеллектуальные интерфейсы нуждаются в регулярном обновлении и обслуживании для поддержания их функциональности и актуальности, что требует больших финансовых и временных затрат. Однако решение данной проблемы для рассматриваемых в работе интеллектуальных интерфейсов было описано в статье [4].
- Существует вероятность дискомфорта отображаемого интерфейса для пользователя, что может ухудшить скорость и эффективность восприятия информации, а в ряде случаев также может оказывать негативное влияние на ряд его психофизиологических характеристик. Например, некорректное расположение компонентов интерфейса на экране приведет к скачкообразному движению глаз, что способствует быстрому утомлению и снижению способности восприятия информационного потока.
- Проблема совместимости интеллектуального интерфейса с интеллектуальной системой для которой он создается, в силу различий

используемых средств и методов при проектировании и реализации.

Эти недостатки требуют особого внимания при разработке и внедрении интерфейсов интеллектуальных систем, чтобы максимально реализовать их потенциал и минимизировать возможные риски.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было предложено определить интеллектуальные интерфейсы компьютерных систем как интерфейсы, одновременно обладающие свойствами мультимодальности, адаптивности и интеллектуальности. Были рассмотрены определения указанных свойств. Такие интеллектуальные интерфейсы обеспечивают удобное взаимодействие пользователя с ней и учитывая различные параметры, как, например, психофизиологическое состояние пользователя, состояние окружающей среды, профессиональные навыки пользователя и способ или способы передачи информации пользователем. Таким образом, такой интеллектуальный интерфейс не только улучшает пользовательский опыт, позволяя эффективнее взаимодействовать с системой, но и минимизирует риски ошибок, делая акцент на адаптации системы к пользователю, что является принципиально новым подходом в разработке интерфейсов.

1. Курзанцева Л. И. Об адаптивном интеллектуальном интерфейсе «пользователь – система массового применения» / Л. И. Курзанцева // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2008. – С. 110-116.
2. Голенков В. В. Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / В. В. Голенков [и др.] // Минск : Бестпринт, 2023. – С. 1064
3. Фомина Т. А., Новикова Г. М. Проектирование адаптивного интерфейса ИС для поддержки деятельности образовательного учреждения / Т. А. Фомина, Г. М. Новикова // Вестник алтайской академии экономики и права. – 2020. – №. 6. – С. 125-133.
4. Садовский М. Е. Семантические модели и средства проектирования адаптивных пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем / М. Е. Садовский // Информатика. – 2023. – Т. 20, № 3. – С. 74–89
5. Ломов П. А., Путилов В. А., Маслобоев А. В. Поддержка интеллектуальности пользовательского интерфейса системы распределенного семантического поиска: проблемы и решения / П. А. Ломов, В. А. Путилов, А. В. Маслобоев // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2010. – Т. 13. – №. 3. – С. 574-586.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Дроздовская П. К., Сиколенко М. А., Качук И. А., Мозоль Н. Р., Лутковский В. М.  
Кафедра системного анализа и компьютерного моделирования,  
Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: d.apolinaria@gmail.com, lutkovski@bsu.by

*Данная работа посвящена прогнозированию временных рядов с помощью нейронных сетей, включая задачи предсказания мелодии и курса валют.*

## I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из ключевых направлений в анализе данных является предсказание временных рядов. Целью данного проекта является разработка и обучение моделей глубокого обучения. В работе рассматриваются две задачи, каждая из которых иллюстрирует принцип работы нейронных сетей в контексте предсказания последовательности данных, а именно мелодии Э.Ханка «Малиновка» и прогнозирование курса белорусского рубля. Основные этапы проекта включают в себя формирование и предобработку набора данных, разработка и обучение моделей, подбор гиперпараметров и их оптимизация, а также оценка и сравнение точности моделей с использованием ключевых метрик качества, таких как MAPE и MSE. Результаты проекта помогут выявить преимущества и недостатки различных подходов к прогнозированию временных рядов и предложить эффективные решения по исследованию точности предсказания нейронных сетей при работе с различными типами данных.

## II. ПРЕДСКАЗАНИЕ МЕЛОДИИ

Первая задача – предсказание мелодии «Малиновка» – представляет собой интересный пример использования нейронных сетей для обработки и анализа музыкальных данных. Мелодии можно рассматривать как временные ряды, поскольку они представляют собой последовательности звучащих нот с определенной структурой и ритмом. Применение нейронной сети позволяет выявить скрытые паттерны и зависимости в музыкальном ряде. Методология включает предварительную обработку данных, создание модели нейронной сети для обучения и тестирования на нормализованных и дополненных данных.

**Параметры сети.** Модель нейронной сети была построена с использованием двух скрытых слоев, каждый из которых содержит 15 нейронов. Такой выбор архитектуры позволяет учесть сложные зависимости в данных мелодии, что критически важно для временных рядов, характеризующихся периодическими изменениями и шумом. Обучение проводилось на данных с 10 эпохами, что обеспечивало достаточную адаптацию модели к исходным данным. Обработка данных. Исход-

ный временной ряд состоял из последовательности частот, соответствующих нотации мелодии. Для улучшения качества предсказаний:

1. **Детрендинг:** Исходные данные были скорректированы с учетом тренда, что позволяет более точно выявлять колебания.
2. **Нормализация:** Данные были нормализованы для устранения смещения и различий в масштабах.
3. **Аугментация:** Для повышения устойчивости модели добавлялся шум, что позволило создать несколько копий нормализованных данных (14 реплик).

## III. ПРЕДСКАЗАНИЕ КУРСА ВАЛЮТ

**Исходные данные курса валют.** Данные взяты с сайта национального банка Республики Беларусь 2018-2024 года, с ежедневными данными по курсу белорусского рубля по отношению к американскому доллару.

Исходный набор данных разбит на 2 периода: "Период до пандемии COVID-19" (прековидный период) и "Период после пандемии COVID-19" (постковидный период). Это связано с тем, что экономические показатели до пандемии могут следовать одному тренду, тогда как в постковидный период тренд мог измениться из-за резких перемен в мировой экономике. Временной ряд для каждого из периодов разбит последовательно на тренировочную и тестовую выборки в соотношении 8:2. Одним из гиперпараметров при Байесовской оптимизации выступает "Шкалирование", "Нормализация" или "Сырые данные". Выбор параметра зависит от решаемой задачи и входных данных.

## IV. АРХИТЕКТУРА И ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСКАЗАНИЯ КУРСА ВАЛЮТ

**Модель ARIMA.** Основные параметры модели ARIMA ( $p, d, q$ ) были определены с помощью модуля `pmdarima auto_arima`. Данные шкалировались перед подачей на вход модели ARIMD. Для данных пост-ковидного периода значения параметров составили (1,1,0) и метрика качества MSE составила 0.53, а для пре-ковидного периода – (0,0,1) MSE = 0.42. Модели ARIMA показали низкие значения метрик качества и не продемон-

стрировали способность предсказания курса белорусского рубля.

Для улучшения качества прогноза была подобрана оптимальная архитектура для модели рекуррентной нейронной сети. Основные компоненты используемой модели включают:

- **Входной слой:** содержит  $N = 32$  нейронов, представляющих количество временных лагов, на основе которых формируется прогноз.
- **Рекуррентные слои:** количество последовательно идущих рекуррентных слоёв  $m = 4$ . В качестве базового слоя используются ячейки LSTM/GRU.
- **Скрытые слои:** каждый скрытый слой (LSTM/GRU) содержит  $n = 48$  нейронов.

Параметры  $m = 4$ ,  $n = 48$ ,  $N = 32$ , а также тип рекуррентного слоя были оптимизированы с использованием метода автоподбора гиперпараметров на основе Байесовской оптимизации.

## V. РЕЗУЛЬТАТЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Мелодия.** После выполнения предобработки данных и их разделения на обучающую и тестовую выборки, сеть была обучена на 80% данных. До обучения, среднеквадратичная ошибка (MSE) на обучающем наборе составила 0.216, что свидетельствует о низком уровне ошибки на начальном этапе. После обучения результаты также характеризуются высокой точностью: при тестировании модели на оставшихся данных MSE составила 1.388, что указывает на возможность предсказания мелодии с приемлемой точностью.

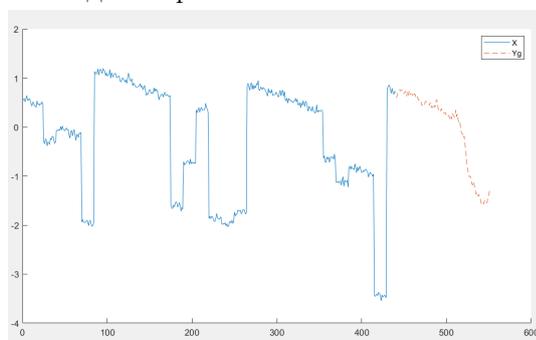


Рис. 1 – Предсказание мелодии

**Курс Валют.** Реализована и обучена модель для и предсказания курсов белорусского рубля; исследована зависимость точности прогноза от и предобработки данных, а также от гиперпараметров модели. Решены задачи –

1. Формирования набора данных;
2. Создание шаблона базовой модели нейронной сети для лёгкости масштабируемости и тестирования различных конфигурация гиперпараметров;
3. Нахождение и обучение оптимальных параметров модели ARIMA;
4. Нахождение и обучение оптимальных параметров модели рекуррентной нейронной сети;

## 5. Тестирование и верификация результатов разработанной модели.

Таблица 1 – Метрики качества предпандемийного и постпандемийного периода

Метрика	Пре-пандемийный	Пост-пандемийный
MAE	0.00367	0.00816
medAE	0.00216	0.00489
MSE	2.53e-05	0.00016
MSLE	2.59e-06	8.94e-06
MAPE	0.00174	0.00256

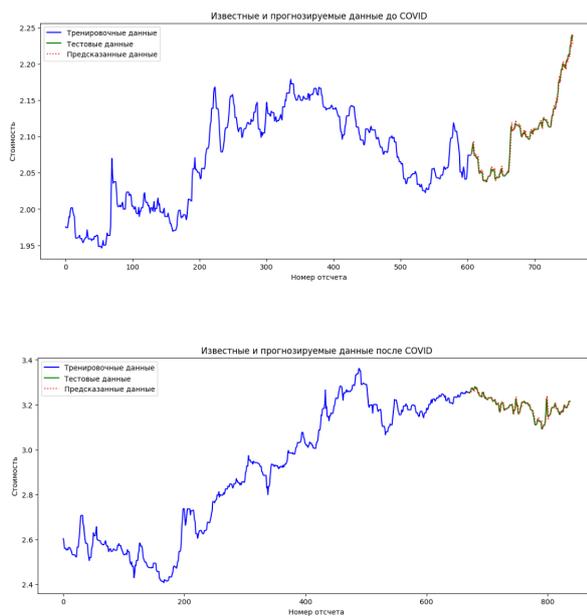


Рис. 2 – Предсказание курса валют

Общие выводы по данной работе демонстрируют эффективность нейронных сетей для предсказания временных рядов разного типа. Задача по предсказанию мелодии «Малиновка» показала, что глубокие нейронные сети могут выявлять скрытые зависимости и структуру музыкальных данных, что позволяет достигать точных предсказаний нот. Анализ курсов валют показал значительное преимущество рекуррентных нейронных сетей над традиционной моделью ARIMA, особенно в пост-пандемийный период, благодаря возможности учета долгосрочных зависимостей. Полученные результаты подчеркивают важность выбора и настройки архитектуры модели в зависимости от типа данных и задачи. Работа подтверждает перспективность использования глубокого обучения для анализа временных рядов и дальнейших исследований в этой области.

1. Каширина Е. А., Курганов А. Н. Нейронные сети как инструмент прогнозирования динамики рыночных цен // Science Time. – 2015. – №12 (24). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyronnye-seti-kak-instrument-prognozirovaniya-dinamiki-rynochnyh-tsen>. – Дата доступа: 18.10.2022.
2. PRIP 2019 Program May 15, 2019 [Electronic resource]. – Mode of access: [https://prip.bsuir.by/m/12\\_126980\\_0\\_136658.pdf](https://prip.bsuir.by/m/12_126980_0_136658.pdf). – Date of access: 18.10.2022.

# МЕТРИКА, ТОПОЛОГИЯ И ПЕРСИСТЕНТНОСТЬ В СМЫСЛОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Ивашенко В. П.

Кафедра интеллектуальных информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: ivashenko@bsuir.by

*Рассматриваются требования и предлагается подход к моделированию метрических свойств смыслового пространства, учитывающий топологические свойства, требования устойчивости и основанный на использовании вложения метрических пространств с ограничением максимально допустимого расстояния и их погружения в нормированные пространства. Рассмотрены свойства размерности таких пространств.*

## ВВЕДЕНИЕ

В ряде работ рассмотрены модели семантического [1] или смыслового пространства [2].

Такие пространства состоят из элементов, которые связаны метрически или топологически. Пространства могут в себя включать подпространства. Порядок включения подпространств и свойства пространства взаимно определяемы. В работе [2] рассмотрена метамодель пространства, которая позволяет определить порядок включения подпространств смыслового пространства, в соответствии с процессом становления онтологических структур, сводящемуся к добавлению в них новых элементов. Важным свойством является устойчивость метрических и топологических свойств при переходе от подпространства к надпространству.

### 1. МЕТРИКА СМЫСЛОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Ранее рассмотрены топологические замыкания и соответствующие замкнутые множества обозначений в онтологиях, которые устойчивы (персистентны) по отношению к добавлению новых элементов онтологических структур, сводящихся к графовым структурам [2].

Если топологические замыкания на графовых структурах тесно связаны с транзитивными бинарными отношениями (графовыми), то в отличие от квазиметрик (дистанций на орграфах), которые также связаны с транзитивными бинарными отношениями и (квази-равномерными) топологическими пространствами, метрики связаны с симметричными бинарными отношениями [3].

В силу того, что в языках, ориентированных на явное представление ассоциаций и метазаписей, дистанция между знаками (обозначениями) всегда может быть сокращена добавлением элементов в онтологическую структуру до (конечного) расстояния, заданного некоторой ассоциативной связью, то можно сказать, что пространство «компактифицируется» до заданного «максимально допустимого» расстояния, с другой стороны в этом пространстве должны помещаться все знаки, входящие в любую онтологическую структуру,

при этом расстояние между различными знаками должно быть ненулевым.

Одним из способов обеспечить эти требования, не использующим нецелочисленные значения для расстояний и координат, является рассмотрение такого пространства как многомерного, в котором все знаки помещены в многомерный шар и метрика в котором задаётся как функция (максимум) метрик вдоль каждой из координат.

Если пространство нормировано, то можно ввести базис и векторное представление для такого метрического пространства. При этом видится целесообразным, чтобы базис определялся в рамках метрической модели однозначно (канонически), отталкиваясь от канонической последовательности канонических представлений устойчивых топологических пространств, что, однако, оставляет вопрос о метрических свойствах в таком пространстве и устойчивости его метрики по отношению к отображению на расширенное пространство, т.е. возможности вложения в надпространство. Этот вопрос легко решаем, возможно, только для метрики простейшего дискретного пространства, однако размерность такого пространства будет в общем случае избыточна. В ином случае проблема по всей видимости в том, что даже такая метрика может мало чем отличаться от простейшей метрики дискретного топологического пространства, не в плане отличий вообще, а в плане обладания устойчивыми отличительными свойствами.

Так как может быть произвольное количество знаков смыслового пространства, находящихся попарно на максимальном расстоянии, то в метрическом пространстве каждый из них является центром шара в некоторой метрике, на поверхности которого лежат остальные. Для метрики, порождённой нормой, размерность соответствующего нормированного пространства будет равна количеству таких знаков, уменьшенному на 1.

Утв. 1. Если использовать только целочисленные значения координат, то размерность пространства будет расти в худшем случае не менее чем линейно от количества знаков.

Минимальная размерность пространства по отношению к количеству вершин будет достигаться в случае гиперкубического графа.

Видится целесообразным, чтобы координатно-векторное представление знаков в смысловом пространстве было достаточным для восстановления дистанций между ними, каким оно было бы до «компактификации», т.е. для восстановления локальных квази-метрических свойств в топологически устойчивых подструктурах смыслового пространства, наподобие того, как представление в пространстве с («истинной») эвклидовой размерностью графа [4] достаточно для его восстановления с точностью до изоморфизма по набору точек в отличие от его представления в пространстве с (эвклидовой) размерностью графа [5]. В частности, чтобы не связанные инцидентностью в экстенсionale знаки не находились на том же расстоянии как и связанные.

Чтобы выполнить последнее условие о достаточности, сформулируем следующие требования: знаки, минимальные окрестности которых имеют непересекающиеся замыкания, должны лежать друг от друга на максимально допустимом расстоянии, размерность пространства при этом должна быть минимальна; расстояние между знаками, одно из замыканий минимальных окрестностей которых является подмножеством другого, либо равно максимальному допустимому расстоянию, либо на единицу больше количества замыканий между ними, если это количество меньше максимально допустимого расстояния.

В случае выражения локальных метрических свойств метрикой городских кварталов и с учётом остальных требований размерность пространства будет не меньше максимального расстояния (цепи), уменьшенного на 1, т.е. будет зависеть линейно.

Таким образом, в худшем случае затраты на хранение возрастут с полилоглинейных до квадратичных относительно количества знаков, чтобы это компенсировать возможно использования кратких структур данных [6].

## II. РАЗМЕРНОСТЬ СМЫСЛОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Пусть  $m$  – максимально допустимое расстояние, а  $n$  – количество (различимых) знаков, тогда размерность  $d$  пространства без учёта условия о достаточности:

$$d = \max \left( \{1\} \cup \left\{ \left\lfloor \frac{(n-2)}{2^{*(m-1)}} \right\rfloor \right\} \right)$$

Количество  $n$  можно выразить:

$$n \leq (1 + \text{sign}(d - 1)) * (m - 1) * d + 2$$

Размерность  $D$  пространства с учётом условия о достаточности:

$$D \leq \max \left( \{1\} \cup \{n - m\} \right)$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформулированы требования и предложен подход к моделированию метрических свойств смыслового пространства, выявлены свойства размерности смыслового пространства с учётом сформулированных требований.

В перспективе дальнейшему исследованию подлежат: вопрос о возможности повышения эффективности поиска за счёт моделирования метрических свойств смыслового пространства предлагаемым образом и вопрос о преимуществах или недостатках методов поиска за счёт моделирования метрических свойств по отношению к методам поиска за счёт моделирования топологических свойств смыслового пространства.

В случае онтологий, топология, свойства топологического пространства, связаны с отношением частичного порядка, которое соответствует модели полной или конфлюентной персистентности в задачах семантического протоколирования процессов (в т.ч. обработки знаний), для которых были разработаны соответствующие модели протоколирования и структуры [7].

Поэтому некоторые вопросы топологического плана могут решаться на основе предложенных соответствующих моделей и методов.

1. Manin, Yu.I., Marcolli, M. Semantic spaces. *Math. Comput. Sci.* – 2016. – 10, no.4, – 459–477 pp.
2. Ivashenko, V. Semantic space integration of logical knowledge representation and knowledge processing models / V. Ivashenko // *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS)*; ed.: V. V. Golenkov [et al.]. – Minsk, 2023. – Iss. 7. – С. 95–114.
3. Smyth, M., Quasi uniformities: reconciling domains with metric spaces / M. Main, A. Melton, M. Mislove, D. Schmidt (eds.) // *Mathematical Foundations of Programming Language Semantics, Lecture Notes in Computer Science.* – Springer-Verlag, 1988. – 298. – 236–253 pp.
4. Erdős P., Simonovits M. On the chromatic number of geometric graphs // *Ars Comb.* – 1980. – 9. – 229–246 pp.
5. Harary, F., Melter, R.A. On the metric dimension of a graph. *Ars Combinatoria*, 1976. – 2. – 191–195 pp.
6. Jacobson, G. Space-efficient static trees and graphs // 2013 IEEE 54th Annual Symposium on Foundations of Computer Science. – Research Triangle Park, NC, USA, 1989. – 549–554 pp.
7. Ivashenko, V. Semantic Logging of Repeating Events in a Forward Branching Time Model / V. Ivashenko, N. Zotov, M. Orlov // *Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2021) = Распознавание образов и обработка информации (2021) : Proceedings of the 15th International Conference, 21–24 Sept. 2021, Minsk, Belarus / United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus.* – Minsk, 2021. – 149–152 pp.

# ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛОГИКО-СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Ивашенко В. П.

Кафедра интеллектуальных информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: ivashenko@bsuir.by

*Рассматриваются принципы и подход для построения модели логико-семантического анализа естественного языка. Выделены уровни анализа естественного языка и выделены этапы логико-диалектического анализа. Указаны основные упорядочивающие отношения для разных уровней логико-семантического анализа, организующих компоненты лингвистической базы знаний в рамках смыслового пространства.*

## ВВЕДЕНИЕ

Предложено множество подходов к анализу естественного языка [1]. В настоящее время развиваются и зачастую успешно используются подходы, использующие большие языковые модели [2]. Однако их нейросетевая реализация не позволяет в полной мере избежать ошибок и обеспечить их коррекцию путём их объяснения.

Более ранним подходами, в рамках логико-символьного подхода обработки знаний, являются подходы на основе сочетания лексико-грамматического, морфологического, синтаксического и семантического анализа [3]. Однако при этом количество этапов анализа не фиксировано и может варьироваться от подхода к подходу [3].

Известны подходы на основе модели «Смысл-текст» Ю. Мельчука [4]. Формальная модель семантики Р. Монтегю [5], Л. Кальмара [6].

Для анализа формальных языков может быть использован на стадиях лексико-грамматического и синтаксического разборов алгоритм Эрли [7] вместе с наборами правил.

## I. ЭТАПЫ И УРОВНИ ЛОГИКО-СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Предлагается подход, который основывается на следующих принципах:

- использование унифицированного семантического представления для лингвистической информации [8];
- использование словарей синонимических наборов правил (продукций),  $\text{supprodset}'\text{ов}$ ;
- использование в качестве основных этапов этапов лексического (лексико-грамматического) и семантического анализа;
- использование в качестве вспомогательных этапов этапов морфологического и синтаксического анализа;
- использование трёх уровней анализа в рамках семантического анализа: сущностно-систематического,

реляционно-феноменологического, логико-диалектического.

Этап лексического анализа сводится к поиску лексем в словаре и соответствующего набора правил.

Семантический анализ сводится к применению правил из найдённых наборов, при этом правила включают обработку онтологических структур на трёх уровнях. Кроме этого, правила в наборах правил ориентированы на работу с реляционными множествами [8], таким образом естественным образом поддерживается динамический характер процесса анализа естественного языка [9].

На уровне сущностно-систематического анализа учитываются и различаются такие языковые категории как число, род, имена собственные и нарицательные.

На уровне реляционно-феноменологического анализа учитываются такие категории как модальность, переходность и непереходность, пространственно-временные отношения [8,9], обстоятельства места, времени, причин и целей.

На уровне логико-диалектического анализа различаются утверждения, повествования, вопросы, императивы, при этом учитываются союзы, выражающие логические взаимосвязи, квантификаторы, обстоятельства условий и формируются гипотезы о предметных связях, высказываниях и интенциях.

Морфологический и синтаксический анализ инициируются, когда на уровне лексического анализа не обнаруживается лексема или на уровне логико-диалектического анализа не формулируется ни одна гипотеза.

На основных этапах и уровнях анализа учитывается порядок и топологические свойства онтологических структур языковой базы знаний [8].

На этапе лексического анализа [3] учитывается лексикографический порядок лексем.

На этапе семантического анализа на уровне сущностно-систематического анализа учитывается порядок, связанный с конденсацией транзитивного замыкания отношений `member-of`, `subclass-of`.

На уровне реляционно-феноменологического анализа учитывается порядок, связанный с конденсацией замыкания отношений становления и раньше-позже.

На уровне логико-диалектического анализа учитывается порядок, связанный с конденсацией транзитивного замыканий отношений под-формулы, логического следования, выводимости, сообщений-реплик.

Перечисленные отношения порядка обеспечивают шкалирование лингвистических знаний и задаёт ключевые структуры в смысловом пространстве, необходимые для его организации, управления занятиями [8] и осуществления логического вывода в его рамках.

Для реализации правил используются специальная онтология, которая содержит понятия текущего корневого и атомарного высказываний (выражений), текущего феномена, сущности и др. Для описания правил может быть использован универсальный язык описания, к которому может быть применён алгоритм наподобие алгоритма Эрли. В этом языке грамматические правила дополняются пост-заключениями для преобразования состояния лингвистической базы знаний, в соответствие со схемой «условие : заключение > пост-заключение».

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены принципы и подход для построения модели логико-семантического анализа естественного языка. Выделены уровни анализа естественного языка и выделены этапы логико-диалектического анализа. Указаны основные упорядочивающие отношения для разных уровней логико-семантического анализа, организующих компоненты лингвистической базы знаний в рамках смыслового пространства.

Компоненты лексического анализатора прошли апробацию в интеграционной системе [10]. Предложенный подход и принципы ориентированы на создание интеллектуальных вопросно-ответных и обучающих систем [10, 11].

1. Большакова, Е.И. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика. / Е. И. Большакова [и др.] . – М.: МИЭМ, 2011. – 272 с.
2. Jurafsky, D. Martin, J. H. Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition, 3rd Edition draft [Electronic resource]. – Mode of access: [https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/ed3book\\_jan72023.pdf](https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/ed3book_jan72023.pdf). – Дата доступа: 28.10.2024.
3. Крапивин, Ю. Б. Естественно-языковой интерфейс интеллектуальных систем. Лабораторный практикум : пособие / Ю. Б. Крапивин. – Минск : БГУИР, 2023. – 64 с.
4. Mel'cuk, I. Language: from Meaning to Text. Ed. by D. Beck. Moscow & Boston. 2016.
5. Montague, R. English as a Formal Language. In: Bruno Visentini (ed.): Linguaggi nella società e nella tecnica. – Mailand, 1970. – 189–223 pp.
6. Маркус, С. Теоретико-множественные модели языков // Перевод с англ. М.В. Арапова; Под ред. Ю. А. Шрейдера. – Москва, 1970. – 332 с.
7. Earley, J. An efficient context-free parsing algorithm. Communications of the Association for Computing Machinery. – 1970. –13, no. 2. – 94–102 pp.
8. Ivashenko, V. Semantic space integration of logical knowledge representation and knowledge processing models / V. Ivashenko // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS); ed.: V. V. Golenkov [et al.]. – Minsk, 2023. – Iss. 7. – С. 95–114.
9. Ivashenko, V. Semantic Logging of Repeating Events in a Forward Branching Time Model / Ivashenko V., Zotov N., Orlov M. // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2021) = Распознавание образов и обработка информации (2021) : Proceedings of the 15th International Conference, 21–24 Sept. 2021, Minsk, Belarus / United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus. – Minsk, 2021. – 149–152 pp.
10. Ivashenko, V. Application of an integration platform for ontological model-based problem solving using an unified semantic knowledge representation / V. Ivashenko // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS); ed.: V. V. Golenkov [et al.]. – Minsk, 2021. – Iss. 5. – С. 179–186.
11. Голенков В.В. Интеллектуальные обучающие системы и виртуальные учебные организации: Монография / В.В. Голенков, В.Б. Тарасов, О.Е. Елисеева и др.; под ред. В.В. Голекова, В.Б. Тарасова – Мн.:БГУИР, 2001. – 486 с.

# РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

Каркоцкий А. Г.

Кафедра информационных систем управления, факультет прикладной математики и информатики,  
Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: karkotskiy.alexander@yandex.by

*Данная работа посвящена анализу методов распознавания объектов на изображениях, сделанных в условиях низкой освещенности, таких как ночная съемка. Основное внимание уделено технологиям обработки изображений HDR и Exposure Fusion, которые позволяют улучшить качество изображений, объединяя несколько снимков с разными уровнями экспозиции. Метод HDR повышает динамический диапазон изображения, делая объекты более различимыми, особенно в темных и светлых участках. Exposure Fusion, в свою очередь, более эффективен с точки зрения вычислительных затрат и может применяться, более эффективно, в системах реального времени. Применение данных технологий значительно улучшает точность последующего распознавания объектов, что важно для таких областей, как видеонаблюдение, управление автономными транспортными средствами, авиация и другие.*

## ВВЕДЕНИЕ

Распознавание объектов на изображении применимо в различных важных областях. К примеру, таких как, системы видеонаблюдения, системы управления автономных транспортных средств, авиация и другие. Однако, корректному распознаванию объектов могут помешать условия низкой видимости, в которых изображение было сделано. Эти условия могут быть вызваны различными факторами, такими как низкая освещенность, туман, дождь и другие. Для верного распознавания необходимо оптимизировать стандартные методы компьютерного зрения обнаружения объектов на снимках, с целью их применения в условиях низкой видимости.

Преимущественным интересом является распознавание объектов в ночное время суток, для улучшения качества изображений, полученных при низком уровне освещенности. Одними из наиболее эффективных подходов к решению этой задачи является применение технологий обработки изображений HDR и Exposure Fusion,

### I. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

Основными технологиями обработки изображений в условиях низкой освещенности, рассматриваемыми нами, являются технологии HDR и Exposure Fusion.

**HDR (High Dynamic Range)** – это технология, позволяющие объединить несколько изображений с разными уровнями экспозиции в одно, с целью увеличения динамического диапазона изображения [1]. В условиях ночной времени суток это может быть полезно, так как сцены съемки могут содержать, слабо освещенные объекты, так и объекты с низкой яркостью. Данный метод позволяет выделить детали в тенях и не допустить засветов в яркие освещенных областях.

**Exposure Fusion** – это альтернативная технология, которая также позволяет объединить изображения с разной экспозицией в одно [2]. Для этого используются алгоритмы, которые взвешивают яркость, контраст и насыщенность каждого пикселя. Однако этот метод осуществляется без создания промежуточного HDR изображения. И не требует определенных знаний о полученных экспозициях. Данная технология может быть более эффективной с точки зрения вычислительных затрат.

### II. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ HDR И EXPOSURE FUSION

Для решения задачи распознавания объектов в условиях ночной съемки, используется библиотека OpenCV, которая предоставляет много возможностей для работы с изображениями и их обработки.

Для обработки изображения с применением технологии HDR можно выделить следующие этапы [3]:

1. Загрузка изображений с различными уровнями экспозиции.
2. Выравнивание изображения.
3. Калибровка изображения, в ходе которой восстанавливается функция отклика камеры. В большинстве случаев функция отклика неизвестна, и для ее нахождения используется целевая функция, представленная формулой 1, которая затем минимизируется [4].
4. Создание HDR изображения.
5. Преобразование изображения с использованием тональной компрессии для корректировки динамического диапазона и преобразования его под стандартный диапазон, пригодный для отображения на экранах.

$$\tilde{O}(I, x) = \sum_{i,j} w_{ij} (I_{y_{ij}} - t_i x_j)^2, \quad (1)$$

где в качестве начального  $I$  выбирается линейная функция, а начальный  $x = \hat{x}$  получается с применением формулы 2.

$$\hat{x}_j = \frac{\sum_i w_{ij} t_i I_{y_{ij}}}{\sum_i w_{ij} t_i^2}. \quad (2)$$

С помощью метода HDR можно получить следующее изображение (см. рис. 1).



Рис. 1 – Изображение, полученное с помощью метода HDR

Для обработки изображения с применением технологии Exposure Fusion можно выделить следующие этапы [2]:

1. Загрузка изображений с различными уровнями экспозиции.
2. Выравнивание изображения.
3. Объединение изображений в одно, на основе весов яркости, контраста и насыщенности. Итоговое изображение получается с применением формулы 3 [5].

$$I_0(i,j) = \sum_{k=1}^N W(i,j,k) I(i,j), \quad (3)$$

где  $I$  – это оригинальное изображение, а  $I_0$  – это полученное изображение.

С помощью метода Exposure Fusion можно получить следующее изображение (см. рис. 2).



Рис. 2 – Изображение, полученное с помощью метода Exposure Fusion

После получения обработанного с помощью методов HDR или Exposure Fusion изображения, его можно использовать для дальнейшего распознавания объектов. Для этого могут быть использованы различные алгоритмы.

Метод HDR позволяет сохранить информацию о самых тёмных и светлых участках изображения, делая объекты на ночных снимках более различимыми. Это позволяет проводить более глубокий анализ объектов на изображениях.

Метод Exposure Fusion позволяет получить изображение без чрезмерного увеличения динамического диапазона, что может быть полезно в системах реального времени.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях низкой видимости, особенно в ночное время суток, распознавание объектов требует использования специальных методов улучшения качества изображений. Применение технологий HDR и Exposure Fusion позволяет значительно улучшить видимость объектов на изображениях с низким уровнем освещенности, что увеличивает точность распознавания объектов.

Метод HDR позволяет получить изображение с широким динамическим диапазоном. Данный метод необходим, преимущественно, для изображений, требующих глубокий анализ и точное выделение все объектов изображения.

Метод Exposure Fusion позволяет получить быстрее изображения без чрезмерного увеличения диапазона, что может быть полезно в системах реального времени. При этом данный метод не требует особых знаний о параметрах экспозиции.

Результирующие изображения могут быть в последующем использованы в различных сферах, таких как, видеонаблюдение, автономные транспортные средства, авиация и другие, для более точного распознавания объектов с использованием различных алгоритмов, и позволяют точнее распознавать объекты на изображениях.

1. Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs / P.E. Debevic, J. Malick // Seminal Graphics Papers: Pushing the Boundaries. – 2023. – Vol. 2. – P. 643–652.
2. Exposure Fusion using OpenCV (c++/Python) [Electronic resource]. / Ed. S. Mallic. – Mode of access: <https://learnopencv.com/exposure-fusion-using-opencv-cpp-python/>. – Date of access: 10.10.2024.
3. High Dynamic Range Imaging [Electronic resource]. – Mode of access: [https://docs.huuhoo.com/opencv/3.0/d3/db7/tutorial\\_hdr\\_imaging.html](https://docs.huuhoo.com/opencv/3.0/d3/db7/tutorial_hdr_imaging.html). – Date of access: 10.10.2024.
4. Robertson M.A. Dynamic range improvement through multiple exposures / M.A. Robertson, B. Sean, R.L. Stevenson // Proceedings of the 1999 International Conference on Image Processing, ICIP '99, Kobe, 24-28 October 1999 y.: in 4 v. / IEEE. – Kobe, 1999. – V. 3. – P. 159-163.
5. Mertens T. Exposure Fusion / T. Mertens, J. Kautz, F.V. Reeth // Proceedings of 15th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications (PG'07), 29 October-2 November 2007 y.: in 4 v. / IEEE Computer Society. – Massachusetts, 2007. – P. 382-390.

# ПОДХОД К ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ RDF-МОДЕЛЕЙ С СЕМАНТИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ OSTIS-СИСТЕМ

Никифоров С. А., Садовский М. Е.  
Кафедра интеллектуальных информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: nikiforov.sergei.al@gmail.com, sadovski@bsuir.by

*В работе предлагается подход к трансляции информационных RDF-моделей в семантические модели ostis-систем, а также к обратной трансляции. Предлагаемый подход основан на спецификации транслируемых понятий в базе знаний ostis-систем.*

## ВВЕДЕНИЕ

В работах [1,2] была описана необходимость интеграции семантических моделей ostis-систем с информационными RDF-моделями. Так, RDF, являющийся компонентом технологии Semantic Web, является одним из наиболее популярных технологических решений для представления информационных моделей и используется в большом количестве различных систем.

Работа [1] рассматривает характеристики RDF и внутреннего представления ostis-систем (SC-кода), а также этапы трансляции RDF-графов в линейное представление конструкций SC-кода (SCs-код)[3].

Работа [2] рассматривает подход к трансляции информационных RDF-моделей в SC-код, основанный на логических правилах.

Данная работа предлагает альтернативный подход к трансляции информационных RDF-моделей в SC-код. Целью разработки данного подхода было повышение скорости трансляции для обработки RDF-моделей.

## 1. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД

Предлагаемый подход основывается на введении стандартизированной спецификации используемых в RDF-тройках понятий и набора агентов трансляции, применяющих их.

Для всех предикатов и понятий, входящих в онтологию, используемую информационной RDF-моделью, вводится соответствующий им понятие в базе знаний ostis-системы. Для данного элемента вводится спецификация, включающая:

- Указание его типа;
- Прямой и обратный IRI;
- Принадлежность одному или нескольким классам, в соответствии с которыми будет осуществляться трансляция;
- Домены.

Указанные IRI используются для установления соответствия между элементами RDF-троек и соответствующими им понятиями в базе знаний.

Обратный IRI используется для сокращения числа вводимых отношений, позволяя вводить одно отношение для пары

предиката и обратного ему. Так, отношение *дочерний объект\** будет соответствовать предикатам *IdentifiedObject.ChildObjects* и *IdentifiedObject.ParentObject*. Предикат *IdentifiedObject.ParentObject* в данном случае будет являться обратным IRI.

Были выделены следующие классы понятий, используемых в спецификации для трансляции:

1. *бинарное отношение* – класс, экземплярами которого являются sc-элементы (отношения) соответствующие таким предикатам, что тройки, содержащие их, транслируются в SC-код как пары бинарных отношений. Дополнительно для таких отношений может быть задан второй домен, в частности – литерал.
2. *квазибинарное отношение* – подмножество *отношения*, экземплярами которого являются отношения соответствующие таким предикатам, что тройки, содержащие их, транслируются в SC-код как пары квазибинарных отношений.
3. *параметр* – класс, экземплярами которого являются классы, соответствующие таким предикатам, что тройки, содержащие их, транслируются в SC-код как экземпляры параметров[3], например предикат *length*.
4. *тип* – класс, экземплярами которого являются классы, соответствующие таким субъектам, что тройки, содержащие их и предикат *type*, транслируются в SC-код как принадлежность данному классу. Примером такого типа является класс, соответствующий ресурсу *equipment*, используемого в тройках следующего вида: *X, type, equipment*.
5. *логический тип* – класс, экземплярами которого являются классы, соответствующие таким предикатам, что тройки, содержащие их, транслируются в SC-код как принадлежность или непринадлежность классу, в зависимости от значения литерала. Примером такого является предикат *equipment\_normally\_in\_service*, используемый в тройках следующего вида: *X, equipment\_normally\_in\_service, true/false*.

Пример спецификации отношения на языке SCs приведен на рисунке 1.

```
nrel_class_name
<- sc_node_norole_relation;
=> nrel_iri:
  [http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#className];
<- concept_relation;
=> nrel_second_domain: concept_literal;;
```

Рис. 1 – Пример спецификации отношения на языке SCs

Транслятор включает следующий набор агентов:

- Агент парсинга RDF-графа;
- Агент трансляции RDF-троек в структуру SC-кода;
- Агент трансляции структуры SC-кода в RDF-тройки;
- Агент сериализации RDF-графа.

**Агент парсинга RDF-графа** переводит сериализованный в одном из форматов (RDF/XML, Turtle и т. д.) RDF-граф в набор троек в промежуточном представлении. Использование промежуточного представления позволяет разделить логику трансляции RDF-троек в базу знаний от логики работы с форматами сериализации RDF.

**Агент трансляции RDF-троек в структуру SC-кода** выполняет трансляцию полученных от предыдущего агента троек в конструкции SC-кода. Обработка RDF-тройки включает в себя поиск соответствующих ее компонентам sc-элементов и генерацию конструкции в зависимости от их классов.

**Агент трансляции структуры SC-кода в RDF-тройки и Агент сериализации RDF-графа** выполняют обратный процесс - перевод

содержимого переданной sc-структуры в набор троек в промежуточном формате и дальнейшую сериализацию полученного RDF-графа.

Рисунки 2 и 3 содержат примеры исходного текста в формате RDF/XML и результат его трансляции, представленный SCg-коде.

## II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход обеспечивает эффективную трансляцию RDF-моделей в SC-код и обратно, а также простое расширение перечня транслируемых понятий путем дополнения спецификации в базе знаний.

1. Каешко, А. И. Принципы интеграции содержимого RDF-хранилищ в проект OSTIS / А. И. Каешко, Д. Г. Колб // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2014) : материалы IV междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 20-22 февраля 2014 года) / редкол.: В. В. Голенков (отв. ред.) [и другие]. – Минск : ВГУИР, 2014. – С. 447 - 452.
2. Садовский, М. Е. Онтологический подход к проектированию логических интерфейсов подсистем интеграции информационных RDF-моделей с базами знаний интеллектуальных систем / Садовский М. Е., Никифоров С. А. // Информационные технологии и управление : материалы 58-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 18-22 апреля 2022 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2022. – С. 79-80.
3. Голенков, В. В. Открытая технология онтологического проектирования, производства и эксплуатации семантически совместимых гибридных интеллектуальных компьютерных систем / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич. – Минск : Бест-принт, 2021. – 690 с.

```
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:cim="http://iec.ch/TC57/2014/CIM-schema-cim16#"
  xmlns:me="http://monitel.com/2014/schema-cim16#">
  <cim:Terminal rdf:about="#_00000001-0000-0000-c000-0000006d746c">
    <me:IdentifiedObject.ChildObjects rdf:resource="#_7d3ea94d-49ac-4cca-a66e-610269c770fe" />
    <me:IdentifiedObject.ChildObjects rdf:resource="#_8g6ea94d-49ac-4cca-a66e-610269c770br" />
    <cim:Equipment.normallyInService>True</cim:Equipment.normallyInService>
  </cim:Terminal>
</rdf:RDF>
```

Рис. 2 – Пример трансляции. Исходный текст в формате RDF/XML.

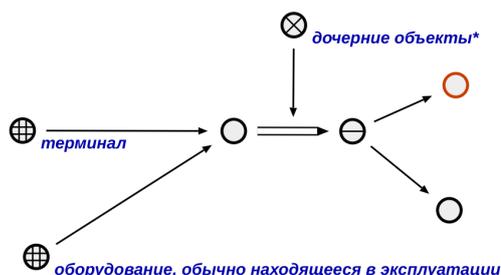


Рис. 3 – Пример трансляции. Результат трансляции, представленный SCg-коде.

# ТЕЛЕГРАМ-БОТ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ “ЦИФРОВОЙ ПОМОЩНИК БРГТУ”

Палто Е. С.

Кафедра интеллектуальных информационных технологий,  
Брестский государственный технический университет  
Брест, Республика Беларусь  
E-mail: alena\_sokolovskau@mail.ru

*Телеграм-боты являются неотъемлемой частью современных цифровых сервисов, и их роль в упрощении общения, автоматизации задач и предоставлении ответов в реальном времени постоянно растет. Использование искусственного интеллекта в таких ботах обеспечивает их способность справляться с более сложными задачами и предоставлять персонализированные ответы. В данной статье рассматривается разработка телеграм-бота с возможностями искусств для Брестского государственного технического университета, названного "Цифровой помощник БРГТУ". Бот основан на системе генерации с поддержкой поиска - Retrieval-Augmented Generation, которая позволяет ему эффективно искать и извлекать информацию из различных источников, а также генерировать релевантные ответы.*

## ВВЕДЕНИЕ

Искусственный интеллект [1] сегодня является важнейшей составляющей цифровых технологий, активно применяемых в различных сферах, включая образование, бизнес и повседневную жизнь. Разработка телеграм-ботов с ИИ позволяет автоматизировать процессы взаимодействия с пользователями, обеспечивать оперативную поддержку и предоставление информации в реальном времени. Телеграм-боты могут не только отвечать на типовые запросы, но и адаптироваться под нужды пользователей, анализируя запросы и предоставляя уникальные ответы. Цифровой помощник БРГТУ – это специализированный телеграм-бот, разработанный для предоставления информации и поддержки студентам, преподавателям и сотрудникам университета. Основная цель проекта – автоматизация ответов на вопросы, предоставление актуальной информации и облегчение взаимодействия между пользователями и учебным заведением.

### I. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Цифровой помощник БРГТУ был создан для решения ряда проблем, связанных с коммуникацией и доступом к информации в университете. Одной из основных трудностей, с которой сталкиваются пользователи, является затрудненный доступ к актуальной информации. Студенты, абитуриенты и их родители часто испытывают сложности при поиске данных, связанных с учебным процессом, расписанием, мероприятиями и административными вопросами. Традиционные способы получения информации через веб-сайты или обращения к сотрудникам иногда оказываются неудобными и требуют временных затрат.

Кроме того, университетская среда характеризуется большим количеством однотипных запросов от студентов и сотрудников, что создает дополнительную нагрузку на персонал, особенно в периоды высокой активности, такие как сес-

сии или приемная кампания. Также существует потребность в обеспечении круглосуточной поддержки, которая могла бы оперативно реагировать на запросы пользователей, предоставляя точные и своевременные ответы. В этой связи автоматизированное решение становится необходимым для оптимизации взаимодействия и повышения эффективности коммуникации.

### II. МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Цифровой помощник БРГТУ представляет собой телеграм-бот с искусственным интеллектом, предназначенный для помощи студентам, преподавателям и сотрудникам Брестского государственного технического университета. Основная цель его создания – автоматизация взаимодействия между пользователями и университетом, предоставление актуальной информации, а также упрощение доступа к необходимым данным. Технология Retrieval-Augmented Generation (RAG) [2] была выбрана для разработки цифрового помощника БРГТУ благодаря её уникальной комбинации методов поиска, извлечения информации и генерации ответов с использованием нейронных сетей. Основным элементом работы бота является способность быстро находить релевантные данные в базе, которая содержит сведения об университете, учебном процессе, кафедрах, мероприятиях и других аспектах жизни БРГТУ. Это обеспечивает минимальное время отклика и точные ответы на запросы пользователей, такие как расписание занятий, информация о структуре университета или последние новости.

В тех случаях, когда необходимая информация отсутствует в базе данных или не полностью релевантна, бот использует нейронные сети и языковые модели для генерации ответов на основе уже имеющихся данных. Такой подход позволяет боту адаптироваться к нестандартным запросам и предоставлять уникальные и контекстуальные ответы.

Основное преимущество RAG заключается в сочетании высокой скорости поиска с гибкостью в адаптации ответов, что делает эту технологию особенно эффективной в образовательной среде, где информация может часто обновляться. Телеграм-бот способен обслуживать большое количество пользователей одновременно, эффективно справляясь с запросами и большими объёмами данных.

### III. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION

Технология Retrieval-Augmented Generation (RAG) [2] представляет собой современный гибридный метод, сочетающий механизмы информационного поиска и генерации текста на основе нейронных сетей, что делает её особенно полезной в задачах, требующих точного извлечения информации и контекстуально релевантных ответов. Основная идея RAG [2] заключается в интеграции двух ключевых компонентов: системы поиска и генеративной модели, что позволяет не только находить существующие данные, но и генерировать новые ответы на основе найденной информации.

Первый этап работы RAG [2] включает в себя поиск релевантных данных. Для этого используется информационно-поисковая система, которая извлекает информацию из заранее подготовленных и структурированных источников, таких как базы данных, документы и другие текстовые корпуса. Этот процесс осуществляется с помощью методов ранжирования и поиска по ключевым словам или другим запросам, что обеспечивает высокую скорость и точность получения релевантных данных. В контексте использования БрГТУ, это позволяет эффективно находить информацию об учебных расписаниях, структуре университета, кафедрах, мероприятиях и других аспектах университетской жизни.

После того как релевантные данные найдены, происходит второй этап – генерация ответа на основе извлечённой информации. Здесь используются нейронные языковые модели, обученные на больших корпусах текстов, что позволяет им генерировать осмысленные и контекстуально корректные ответы, даже если извлечённая информация является неполной или не совсем релевантной. Генеративная модель может комбинировать извлечённые данные и, используя свои внутренние языковые представления, формировать ответы, которые соответствуют запросу пользователя. Это особенно полезно в тех случаях, когда конкретного ответа нет в базе данных, но он может быть сгенерирован на основе похожих данных или контекста запроса.

Особое внимание при разработке было уделено снижению вероятности появления так называемых "галлюцинаций" – ситуации, когда языковая

модель генерирует неправдоподобные или ошибочные ответы на запросы пользователей. Для этого в систему были внедрены специальные механизмы контроля качества генерации, которые обеспечивают большую точность и релевантность предоставляемых данных. Модель проходит проверку на наличие информации в базе данных и стремится предоставлять ответы только на основе проверенных и доступных данных.

Кроме того, в процессе разработки бота были специально настроены элементы вежливого общения. Эта функция позволяет создавать комфортное общение, где пользователи, независимо от ситуации, получают вежливые и точные ответы на свои запросы. Данный аспект важен для обеспечения высокого уровня доверия и удобства использования системы, особенно в образовательной среде.

Основным преимуществом RAG [2] является её способность сочетать точность поиска с гибкостью генерации. В отличие от традиционных систем поиска, которые просто возвращают информацию без какой-либо интерпретации, RAG [2] может адаптировать ответы, что делает её подходящей для сложных задач, где требуется не только быстро найти информацию, но и предоставить её в структурированной и понятной форме. Эта гибридная модель также способна обновляться в режиме реального времени, поддерживая актуальность предоставляемых данных.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, технология RAG [2] является эффективным решением для разработки интеллектуальных систем, таких как цифровой помощник БрГТУ. Комбинируя высокоскоростной поиск информации с гибкостью генерации контекстуальных ответов, она позволяет не только оперативно предоставлять точные данные, но и адаптироваться под нестандартные запросы. Особое внимание уделено снижению вероятности генерации ошибочных ответов и поддержанию вежливого общения с пользователями, что делает бота удобным и надежным инструментом в образовательной среде, способным обрабатывать большие объёмы запросов. Автоматизация взаимодействия с пользователем позволяет сэкономить время пользователя и повысить эффективность коммуникации.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kaplan, A. Artificial Intelligence, Business and Civilization: Our Fate Made by Machines / A. Kaplan // New York: Routledge. – 2022. – 2nd ed. – P. 456-470.
2. Lewis, P., D. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks / P. Lewis, E. Perez, A. Piktus, F. Petroni, V. Karpukhin, N. Goyal, H. Küttler, M. Lewis, W.-t. Yih, T. Rocktäschel, S. Riedel, D. Kiela // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – Vol. 33. – Curran Associates, Inc.: P. 9459–9474..

# ПРИМЕНЕНИЕ БАЗОВЫХ СПЕЦИФИКАЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ СУЩНОСТЕЙ ДЛЯ СТРУКТУРИЗАЦИИ БАЗ ЗНАНИЙ

Петрочук К. Д., Гракова Н. В.  
 Кафедра интеллектуальных информационных технологий,  
 Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
 Минск, Республика Беларусь  
 E-mail: {xenija.petrotschuk, grakova.nv}@gmail.com

В данной работе рассматривается применение базовых спецификаций различных сущностей для структуризации баз знаний, построенных с помощью Технологии OSTIS.

## ВВЕДЕНИЕ

Ежедневно мы сталкиваемся с большими объемами информации. Систематизация и структуризация получаемой информации значительно ускоряет способности анализировать, принимать решения и, естественно, обучаться. Любую предметную область можно представить в виде некоторого фрагмента базы знаний, в котором будут храниться не только сущности этой предметной области, но и правила записи информации об этой предметной области. При создании базы знаний важно определиться с той моделью представления знаний, благодаря которой мы будем иметь удобный способ хранения и извлечения знаний.

В качестве основы для данной работы использовалась *Технология OSTIS* [1], в рамках которой предлагаются не только модели представления различных видов знаний, но и модели и средства структуризации баз знаний.

## I. СТРУКТУРИЗАЦИЯ БАЗ ЗНАНИЙ

В данной работе рассмотрим аспект структуризации, связанный с выделением ключевых свойств для всех сущностей некоторого класса. Набор таких свойств будет называться базовой спецификацией (см. рисунок 1). Базовые спецификации позволяют определить минимальный набор информации, необходимый для достаточного полного описания сущностей соответствующего класса (см. рисунок 2).

**базовая спецификация**  
 ::= [набор основных свойств некоторых сущностей, принадлежащих одному классу]  
 ::= [минимальный набор свойств, который необходим для описания каждой сущности, принадлежащей одному классу]  
 ⇒ **примечание\***:  
 [У каждой сущности, принадлежащей определённому классу, должен быть описан базовый набор свойств, характерных данному классу]  
 ⊃ базовая спецификация базовой спецификации  
 ⊃ базовая спецификация раздела базы знаний  
 ⊃ базовая спецификация предметной области  
 ⊃ базовая спецификация проекта  
 ⊃ базовая спецификация многократно используемого компонента  
 ⊃ базовая спецификация ostis-системы  
 ⊃ базовая спецификация персоны  
 ⊃ базовая спецификация агента  
 ⊃ базовая спецификация отношения

Рис. 1 – Базовая спецификация

**класс сущностей, имеющих унифицированную базовую спецификацию**  
 ::= [класс, для всех сущностей которого можно выделить общий набор свойств, необходимых для базового описания каждой сущности данного класса]  
 ⊃ базовая спецификация  
 ⊃ раздел базы знаний  
 ⊃ предметная область  
 ⊃ проект  
 ⊃ многократно используемый компонент  
 ⊃ ostis-система  
 ⊃ персональная информация  
 ⊃ агент  
 ⊃ отношение

Рис. 2 – Класс сущностей, имеющих унифицированную базовую спецификацию

## II. СТРУКТУРА БАЗОВОЙ СПЕЦИФИКАЦИИ

Стоит отметить, что сам класс базовых спецификаций также будет являться классом сущностей, которые имеют унифицированную базовую спецификацию. Исходя из этого можно формализовать базовую спецификацию для класса базовых спецификаций (см. рисунок 3).

**базовая спецификация базовой спецификации**  
 ⇐ обобщенная базовая спецификация\*:  
 базовая спецификация  
 ⇒ обобщенная декомпозиция\*:  
 (• указание обобщенной базовой спецификации  
 • указание обобщенной декомпозиции  
 • указание примера  
 )  
 ⇒ **пример\***:  
 базовая спецификация базовой спецификации предметной области  
 ⇐ базовая спецификация\*:  
 базовая спецификация предметной области

Рис. 3 – Базовая спецификация базовых спецификаций

При описании какой-либо базовой спецификации необходимо явно выделить класс сущностей, для которых выделена данная базовая спецификация. Для этого используется отношение *обобщенная базовая спецификация\**.

Далее через отношение *обобщенная декомпозиция\** выделяются конструкции, с помощью которых можно описать то или иное свойство сущности, которое входит в базовую спецификацию для некоторого класса. При этом каждое указание на такую конструкцию должно содержать множество *sc-элементов*, входящих в эту конструкцию (см. рисунок 4).

#### указание примера

⇒ обобщенная декомпозиция\*:  
{  
• знак специфицируемого объекта  
• пример  
• дуга, соединяющая специфицируемый объект с примером  
• дуга принадлежности отношению пример\*  
• пример\*  
}

Рис. 4 – Пример указания на конструкцию для описания свойства

И в конце описания каждой базовой спецификации необходимо привести пример хотя бы одной хорошо описанной сущности данного класса. Это необходимо для того, чтобы проще было найти пример сущности с правильно описанной базовой спецификацией для сущностей какого-то конкретного класса.

### III. ПРИМЕНЕНИЕ БАЗОВЫХ СПЕЦИФИКАЦИЙ

Для того, чтобы на примере показать, каким образом связаны описание некоторая сущность и базовая спецификация для класса этой сущности, рассмотрим базовую спецификацию предметной области (см. рисунок 5), указание максимального класса объектов исследования (см. рисунок 6) и Предметную область базовых спецификаций (см. рисунок 7).

Как видно из примеров Предметная область базовых спецификаций принадлежит классу предметных областей, а базовая спецификация предметной области в свою очередь описывает набор свойств, характерных для каждой предметной области.

Кроме того, стоит отметить, что максимальный класс для данной предметной области специфицирован ровно так, как это описано в указании максимального класса объектов исследования, которое содержится с базовой спецификации предметной области.

базовая спецификация предметной области  
⇐ обобщенная базовая спецификация\*:  
предметная область  
⇒ обобщенная декомпозиция\*:  
{  
• указание частных предметных областей  
• указание максимального класса объектов исследования  
• указание классов объектов исследования  
• указание исследуемых отношений  
}  
⇒ пример\*:  
базовая спецификация предметной области базовых спецификаций  
⇐ базовая спецификация\*:  
Предметная область базовых спецификаций

Рис. 5 – Базовая спецификация предметной области

#### указание максимального класса объектов исследования

⇒ обобщенная декомпозиция\*:  
{  
• знак специфицируемого объекта  
• класс сущностей  
• дуга, связывающая знак специфицируемого объекта и класс сущностей  
• дуга принадлежности отношению максимальный класс объектов исследования\*  
• максимальный класс объектов исследования\*  
}

Рис. 6 – Указание максимального класса объектов исследования

#### Предметная область базовых спецификаций

∈ предметная область  
⇐ частная предметная область\*:  
Предметная область семантических окрестностей  
∃ максимальный класс объектов исследования\*:  
базовая спецификация  
класс объектов исследования\*:  
• класс сущностей, имеющих унифицированную базовую спецификацию  
• базовая спецификация раздела базы знаний  
• базовая спецификация предметной области  
• базовая спецификация проекта  
• базовая спецификация многократно используемого компонента  
• базовая спецификация ostis-системы  
• базовая спецификация персоны  
• базовая спецификация агента  
• базовая спецификация отношения  
∃ исследуемое отношение\*:  
• базовая спецификация\*  
• обобщенная базовая спецификация\*

Рис. 7 – Предметная область базовых спецификаций

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый подход для структуризации баз знаний с помощью базовых спецификаций предоставляет возможность единообразным образом описывать фрагменты баз знаний для любых предметных областей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / под общ. ред. В. В. Голенкова. – Минск : Бестпринт, 2023. – 1064 с.
2. Давыденко, И. Т. Средства структуризации семантических моделей баз знаний / И. Т. Давыденко и другие // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016) : материалы VI междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 18 - 20 февраля 2016 года) / редкол. : В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУИР, 2016. – С. 93–106.
3. Давыденко, И. Т. Модели, методика и средства разработки гибридных баз знаний на основе семантической совместимости многократно используемых компонентов : автореф. дисс. ... кандидата технических наук : 05.13.17 / И. Т. Давыденко ; науч. рук. Н. А. Гулякина. – Минск : БГУИР, 2018. – 27 с.

# ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МЕДИЦИНСКИХ ЗНАНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Сальников Д. А.

Кафедра интеллектуальных информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: d.salnikov@bsuir.by

*В работе рассмотрены принципы представления знаний в медицинских интеллектуальных системах с помощью языка SCg, обоснована важность корректной и полной репрезентации знаний в упомянутых системах для лучших результатов, связанных с диагностикой различных заболеваний пользователя.*

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из центральных направлений в области интеллектуальных технологий является обработка знаний. Система может считаться интеллектуальной в том случае, если ядро данной системы содержит в себе базу знаний, описанную на языке сверхвысокого уровня (близкому к естественному). Прикладное значение интеллектуальных систем заключается в решении сложных задач, где принятие решения зависит от обработки представленных знаний и, вследствие, корректного логического вывода. Базы знаний, в отличие от баз данных предлагают более гибкое и осмысленное описание как предметной области в целом, так и отдельно взятых ее фрагментов.

### I. ВОЗНИКНОВЕНИЕ МЕДИЦИНСКИХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

В начале 1970 г. впервые был затронут вопрос разработки экспертных систем, главное назначение которых – аккумуляция экспертных знаний в базе знаний и предоставление помощи в решении задач в определенных, зачастую достаточно узких, предметных областях. Сама система принимала роль "эксперта" и предоставляла решение поставленных пользователем задач, в отдельных случаях даже на естественном языке.

Одной из первых масштабных по своей разработке экспертных систем в целом, и в медицинской отрасли в частности, можно считать систему MYCIN. Главное назначение системы – диагностировать наличие у пациента бактерий, способных вызвать тяжелые инфекционные заболевания и предоставлять рекомендации по приему правильной дозировки антибиотиков, основываясь на массе тела пациента. Система разрабатывалась Эдвардом Шортлиффом на базе Стэнфордского университета в течение шести лет, и была результатом продолжительного исследования на соискание степени доктора наук. В роли эксперта и по совместительству руководителем проекта был Стэнли Коэн – преподаватель университета и врач-генетик, впоследствии один из создателей методов геной инженерии. Экспертная медицинская система MYCIN состояла из двух основных компонентов: машины вывода и базы знаний, в ко-

торой хранилось более 600 правил. Особенностью новой системы было использование нечетких решающих правил, что делало механизм вывода более гибким и адаптирующимся, в отличие от систем разработанных ранее. После инициации запуска система предлагала пользователю ответить на ряд заранее формализованных в базе знаний вопросов. Основываясь на ответах пользователя, система предъявляла отсортированный по вероятности список о наличии возможных вредоносных бактерий в организме, указывала доверительный интервал для вероятностей диагнозов и даже их медицинское обоснование с рекомендуемым курсом лечения.

Позднее, исследование проведенное в Стэнфордской Медицинской Школе выявило, что разработанная экспертная система MYCIN предлагает корректную терапию в 65% случаев, что оказалось лучше результатов экспертов в области инфекционных заболеваний. Данное исследование доказало, что при грамотном подходе к разработке экспертных систем они вполне могут выполнять задачи, которые ранее были под силу лишь людям со специальным образованием и знаниями. MYCIN стала первым и серьезным проектом, идеи которого можно встретить и в современных медицинских, и не только экспертных системах [1].

### II. РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ

База знаний разрабатывалась в соответствии с стандартом OSTIS (Открытая семантическая технология проектирования интеллектуальных систем). В качестве языка универсального представления знаний в базах знаний ostis-систем используется SC-код. Особенность данного языка заключается в том, что он обеспечивает единую форму записи разных видов знаний (декларативных и процедурных). SC-код является формальным языком универсального представления знаний в памяти интеллектуальных компьютерных систем и представляет собой множество нелинейных sc-текстов. Универсальность SC-кода обеспечивается и тем, что элементами текстов SC-кода могут быть знаки описываемых сущностей любого вида, в том числе, и знаки

связей между описываемыми сущностями и/или их знаками. Тексты SC-кода являются графовыми структурами расширенного вида, в которых знаки описываемых связей могут соединять не только вершины (узлы) графовой структуры, но и знаки других связей. Таким образом на SC-коде можно записать любую информацию, в том числе программу, которая будет обрабатывать другую информацию. SC-код обладает простым синтаксисом, благодаря чему прост в понимании, представлении и обработке. Так как SC-код является графовым нелинейным формальным языком, то абстрактная память otis-системы является графодинамической (т.е. нелинейной и структурно перестраиваемой) [2].

В рамках построения базы знаний предметной области заболеваний связанных с различными органами и тканями человека дополнительно было выделено пять малых предметных областей: заболевания желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистых заболевания, воспаления мышечных тканей, острые респираторные инфекции, головной мозг.

На рис. 1 представлен формализованный фрагмент базы знаний, который описывает острое респираторное заболевание "бронхит". Язык представления знаний SCg позволяет описать не только само понятие заболевания, но и его симптоматику: типа кашля (сухой, влажный) и его частоту, возможные при этом выделения, воспаления бронхов, повышенной температуры и удушья. В качестве многократно используемых компонентов базы знаний дополнительно формализованы

понятия систем (кровеносная, нервная) и состояний (равновесное, неравновесное) человека, типы испытываемой физической боли, и понятие болезни (риски, причины возникновения, механизмы ее протекания, осложнения и пр.) [3].

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Правильно подобранный язык представления знаний может существенно расширить границы описания как предметной области в целом, так и отдельно взятых ее фрагментов, понятий, сущностей, отношений между ними. Качество разрабатываемой интеллектуальной системы напрямую зависит от уровня проработки базы знаний. В случае с медицинскими интеллектуальными системами, данный принцип особо важен, так как может положительно повлиять на логический вывод диагностирования заболевания, предоставить верные рекомендации касательно здоровья и снизить вероятность ошибок к минимуму.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yu, V. L. Antimicrobial selection by a computer. A blinded evaluation by infectious diseases experts / V. L. Yu, S. N. Cohen // JAMA: the journal of the American Medical Association – 1979. – Vol. 242.
2. Голенков, В. В. Открытая технология онтологического проектирования, производства и эксплуатации семантически совместимых гибридных интеллектуальных компьютерных систем / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич. – Минск : Бестпринт, 2021. – 690 с.
3. Ростовцев, В. Н. Основы здоровья / В. Н. Ростовцев. – Мн.: Минсктиппроект, 2002. – 110 с.

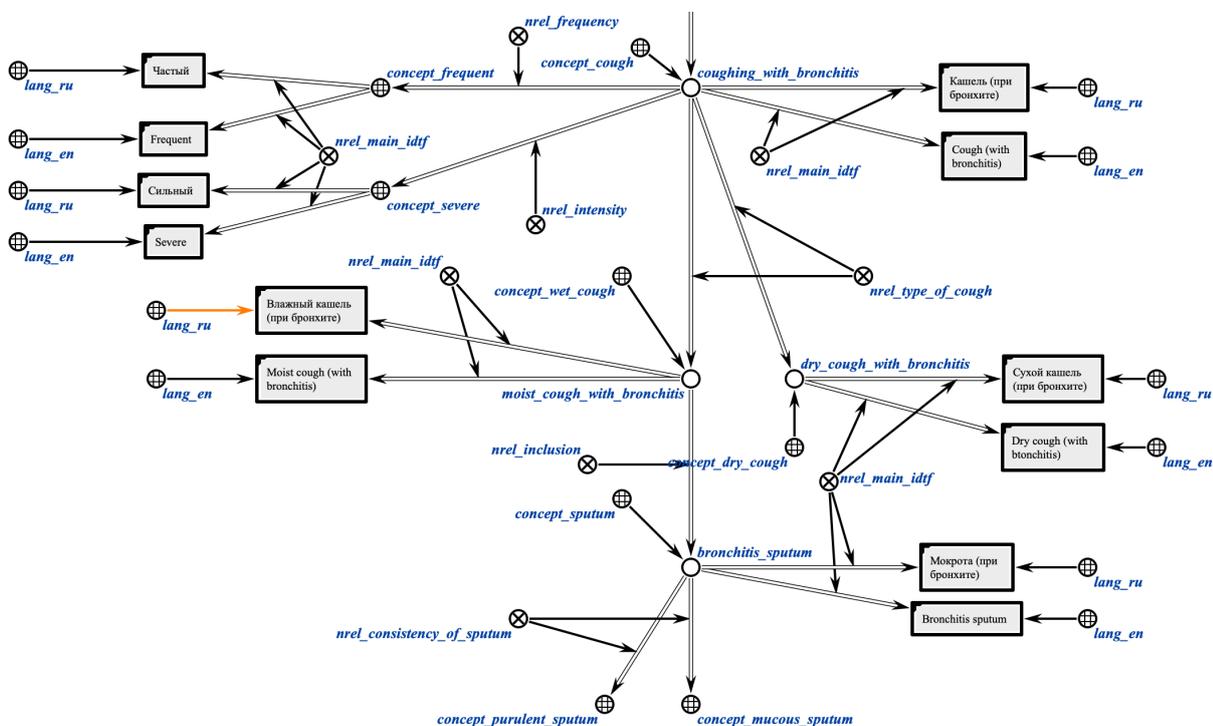


Рис. 1 – Фрагмент базы знаний, описывающий симптоматику кашля при бронхите.

# БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМАХ

Сальников Д. А., Крищенко В. А.

Кафедра интеллектуальных информационных технологий,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: d.salnikov, krish@bsuir.by,

*В работе рассмотрены варианты использования биометрических показателей человека в интеллектуальных медицинских системах в качестве инструмента диагностирования различных заболеваний и отклонений от нормы.*

## I. ВВЕДЕНИЕ

Медицинская диагностика в интеллектуальных системах работает по принципу сложного логического вывода, который основан на экспертных знаниях, входных данных от внешних источников. Принято считать, что биометрические показатели используются исключительно в целях безопасности - для идентификации личности. Однако, рассматриваемые подходы расширяют возможности использования биометрии. Интеграция биометрических параметров в интеллектуальные системы и создания логических правил для работы с ними, позволит сделать некоторый вывод о состоянии здоровья человека, или отдельных его систем.

## II. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМЕТРИИ В ДИАГНОСТИКЕ

По сравнению с биологическими сигналами, биометрических показателей, подлежащих обработке, у человека намного меньше [1]. Однако, их считывание, зачастую, не требует дорогостоящего медицинского оборудования - например, биометрические данные лица и радужки глаза можно зафиксировать с помощью камеры смартфона. На данный момент существует перечень биометрических показателей, на основе которого можно диагностировать отклонения со здоровьем. Перечень представлен в Таблице 1.

Путем интеллектуального анализа фотографии лица, медицинская система может диагностировать генетические нарушения (заболевания), которые влекут за собой значительные изменения анатомических особенностей черт лица. В особых случаях, для анализа биометрических данных лица можно использовать технологию фотограмметрии, которая позволяет построить реалистичную 3D модель на основе множества фотоснимков, сделанных с разных ракурсов [2].

Интеллектуальный анализ составляющих глазного яблока, а именно, радужной оболочки, склеры и роговицы может выявить патологии и заболевания, которые протекают в организме человека. Однако, существует определенное ограничение, связанное с тем, что распознавание более темных радужных оболочек глаза требует ин-

фракрасного излучения, тогда как более светлые радужные оболочки поддаются сканированию в видимом спектре с помощью фотографии в высоком разрешении. Такие отклонения как синдром Ригера, катаракта и диабетическая ретинопатия могут быть запечатлены с помощью фотографии, которая в дальнейшем будет использоваться для интеллектуального вывода.

Таблица 1 – Перечень заболеваний, выявляемых с помощью биометрических данных

Лицо	Глаза	Голос	Походка
Синдром Хатчинсона-Гилфорда	Диабетическая ретинопатия	Болезнь Паркинсона	Остеоартрит
Синдром Вильямса-Бойрена	Глаукома	Инфекции дыхательных путей	Энцефалопатия
Синдром Дауна	Микроаневризма	Депрессия	Полинейропатия
Акромегалия	Катаракта	Афазия	Деменция
Муколипидоз	Синдром Ригера	Шизофрения	Дистония
Мукополисахаридоз	Синдром Ади	Болезнь Гентингтона	Хорея

Человеческий голос так же содержит в себе полезные данные, которые можно извлечь и обработать, чтобы проверить состояние здоровья. В отличие от предыдущих методов извлечения биометрических параметров, извлечение голоса предполагает лишь наличие микрофона и минимальную обработку записанного результата (избавление от шумов, помех, случайно захваченных частот). Корректно записанный и обработанный (в случае необходимости) голос может использоваться для анализа речевых особенностей человека. Болезнь Паркинсона, депрессия, шизофрения и иные недуги, которые явно отражаются на речи могут быть распознаны с помощью семплирования голоса и его последующей обработки в интеллектуальной медицинской системе.

Походка, в том числе относится к биометрическим параметрам и может быть полезной при выявлении отклонений, связанных с опорно-

двигательным аппаратом и психологическим состоянием человека. Фиксировать походку для дальнейшего ее анализа можно с помощью видеозаписи, а так же носимых устройств (фитнес-браслет, смарт-часы), которые оснащены гироскопом. При интеллектуальном анализе походки важно учитывать факторы возраста, физиологических и культурных особенностей, а так же эмоционального состояния испытуемого. Повторный анализ походки может использоваться для отслеживания динамики выздоровления или развития заболевания, что будет полезно для стационарного обслуживания пациента. Формирование паттерна походки происходит в специально разработанном программном обеспечении, которое активно взаимодействует с носимой электроникой и записывает данные гироскопа. На данный момент вышеупомянутый паттерн может использоваться для диагностирования как психоневрологических нарушений, вроде болезни Паркинсона, деменции, а так же заболеваний костей, суставов и опорно-двигательного аппарата, вроде остеоартрита и остеопороза, хореи и др [3].

### III. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД

Предлагаемый подход заключается в формализации и помещении в базу знаний биометрических параметров человека с помощью языка представления знаний SCg (Semantic Code graphical). Открытая семантическая технология проектирования интеллектуальных систем (OSTIS) в ходе разработки и тестирования фрагментов базы знаний зарекомендовала себя как надежный инструмент для текущей задачи. С помощью редактора

базы знаний были формализованы следующие биометрические параметры человека: черты лица человека, радужка глазного яблока, голос человека, походка. На рис. 1 представлен фрагмент, описывающий вышеперечисленные биометрические параметры. Понятия, и их значения, хранящиеся в базе знаний будут использоваться для формирования предварительного диагноза по различным заболеваниям.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первую очередь, биометрические данные служат для идентификации человека, однако их использование может помочь выявить потенциальные проблемы со здоровьем. Наличие фенотипических изменений черт лица на изображениях может указывать на вероятное генетическое отклонение. Аналогичным образом, биометрические показатели голоса, радужки глаза и походки так же содержат в себе информацию о состоянии здоровья. Тем не менее, при работе с биометрическими параметрами стоит помнить об их сохранности, ведь они могут быть использованы в неэтичных и незаконных целях.

### V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grother P. et al. Biometric specifications for personal identity verification // NIST Special Publication. – 2013. – Т. 800. – С. 76-2.
2. Loos, H., Wieczorek, D., Würtz, R. et al. Computer-based recognition of dysmorphic faces. Eur J Hum Genet 11, 555–560 (2003).
3. Vázquez-Correa J. C. et al. Multimodal assessment of Parkinson's disease: a deep learning approach // IEEE journal of biomedical and health informatics. – 2018. – Т. 23. – №. 4. – С. 1618-1630.

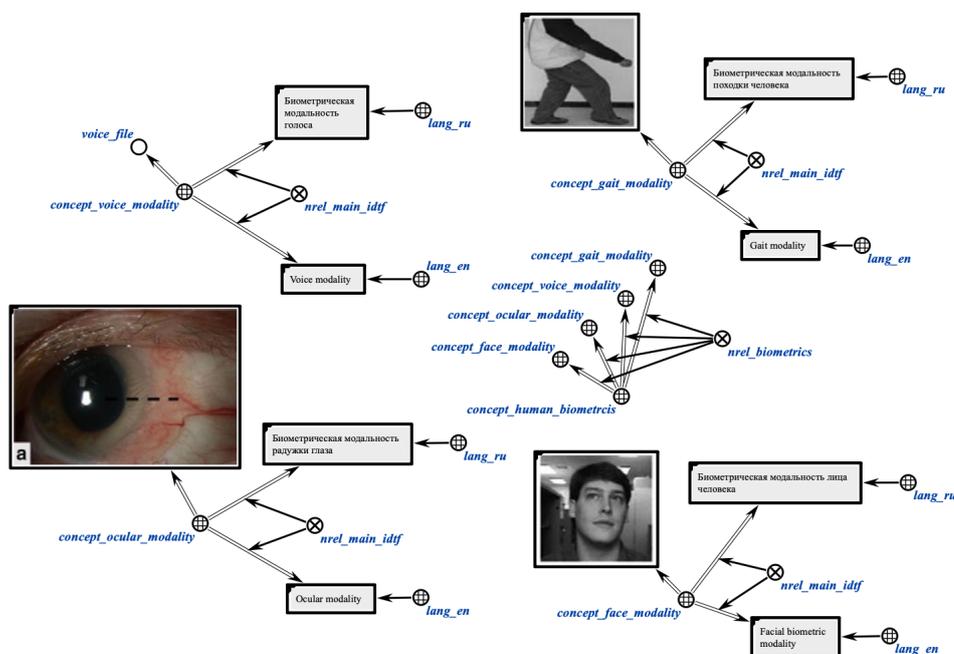


Рис. 1 – Формализованные понятия по биометрическим показателям на языке представления знаний SCg.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ НУКЛЕОТИДНЫХ САЙТОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМОРФИЗМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Сарнацкий Д. Д., Яцков Н. Н., Гринев В. В.

Кафедра системного анализа и компьютерного моделирования, кафедра генетики,

Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

E-mail: denisiussarnatski@gmail.com, {Yatskou, Grinev\_vv}@bsu.by

*В работе рассмотрены способы генерации признаков нуклеотидных сайтов при определении генетических полиморфизмов с использованием методов машинного обучения. Исследована информативность признаков в применении к смоделированным данным геномного секвенирования с добавлением гауссовского шума. Наиболее информативными и независимыми характеристиками нуклеотидных сайтов являются признаки на основе логарифма вероятности ошибки в рядах,  $p$ -величине теста Пуассона, чисел покрытий референсного и первого неререференсного каналов.*

## ВВЕДЕНИЕ

Однонуклеотидные полиморфизмы (SNP – от англ. Single Nucleotide Polymorphism) являются одним из наиболее распространенных типов генетических вариаций в геноме человека. Существующие статистические методы идентификации однонуклеотидных полиморфизмов [1] требуют значительных вычислительных ресурсов и сложно применимы при анализе экспериментальных данных с высоким уровнем шума [2].

Применение методов имитационного моделирования и машинного обучения позволяет повысить точность определения сайтов SNP при увеличении шума в экспериментальных данных геномного секвенирования. Логическим продолжением работы является повышение степени детализации моделируемых процессов в имитационной модели [3] и исследование информативности характеристик или признаков нуклеотидных сайтов при решении задачи определения сайтов SNP с использованием методов машинного обучения.

Целью данной работы является выделение и исследование эффективности признаков нуклеотидных сайтов при определении генетических полиморфизмов с использованием методов машинного обучения. Рассмотрены 23 признака, характеризующие данные геномного секвенирования нового поколения [1], представленные числом покрытий нуклеотидных сайтов. Исследование информативности признаков нуклеотидных сайтов выполнено на примере анализа геномных данных человека с использованием методов машинного обучения.

### I. ПРИЗНАКИ НУКЛЕОТИДНЫХ САЙТОВ

В таблице 1 представлен фрагмент набора экспериментальных данных, содержащий числа

покрытий нуклеотидных сайтов (колонки 3–7) и тип референсного нуклеотида (колонка 2).

Таблица 1 – Фрагмент набора данных секвенирования хромосомы 22 человека

	Расположение	Референсное значение	A	C	G	T
0	chr22:16050343	T	0	2	0	25
1	chr22:42771714	A	25	0	0	0
2	chr22:42771715	T	0	21	0	3

Выделены 23 статистических признака, включающие исходные числа покрытий, результаты ключевых классических критериев, эмпирические признаки сайтов SNP и др.:  $X_1$  – нормированное число покрытий референсного нуклеотида;  $X_2$  –  $X_4$  – отсортированные в порядке убывания нормированные числа покрытий для неререференсных нуклеотидов;  $X_5$  – энтропия сайта [1];  $X_6$  –  $p$ -величина энтропии сайта [1];  $X_7$  –  $p$ -величина теста биномиального распределения [1];  $X_8$  –  $p$ -величина точного теста Фишера [1];  $X_9$  –  $p$ -величина точного теста Пуассона [1];  $X_{10}$  – логарифм вероятности ошибки в рядах [4];  $X_{11}$  – вариация позиции чтения [4];  $X_{12}$  – средняя позиция чтения [4];  $X_{13}$  – бинарный признак, указывающий совпадает ли нуклеотид с максимальным кол-вом покрытий с референсным (эмпирический признак);  $X_{14}$  – бинарный признак, указывающий равняется ли приблизительно кол-во ридов для референсного и неререференсных нуклеотидов (эмпирический признак);  $X_{15}$  – баланс аллелей [4];  $X_{16}$  – качество рядом расположенных нуклеотидов [4];  $X_{17}$  – кол-во повторений динуклеотидов [4];  $X_{18}$  – средняя позиция чтения [4];  $X_{19}$  – направленность стренда [4];  $X_{20}$  – суммарное расхождение площадей [4];  $X_{21}$  – разнообразие нуклеотидов [4];  $X_{22}$  – кол-во несоответствий ридов [4];  $X_{23}$  – кол-во последовательных повторов одного нуклеотида [4].

Признаки  $X_1 - X_{14}$  могут быть выделены из исходных частотных таблиц вида таблицы 1. Назовем их дифференциальными признаками, их удобно применять для методов машинного обучения. Для выделения признаков  $X_{15} - X_{23}$  нужна дополнительная аннотирующая информация [5] и выделяются они с учетом состояния смежных сайтов. Назовем их интегральными признаками. Полный набор признаков имеет смысл применять в основном для обучения нейросетей.

## II. ОПИСАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Задачей проведения вычислительного эксперимента является исследование: i) информативности признаков; ii) точности методов машинного обучения, обученных на выделенных признаках; iii) времени работы алгоритмов.

Информативность признаков оценивается по методу случайного леса с критерием прироста информативности (критерием расщепления узлов) индекс Джинни [6]:

$$Gini(Q) = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2$$

где  $Q$  — результирующее множество,  $n$  — число классов в нем,  $p_i$  — вероятность  $i$ -го класса.

## III. РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрены дифференциальные признаки  $X_1 - X_{14}$  для решения задачи определения сайтов однонуклеотидных полиморфизмов с использованием методов машинного обучения.

На рисунке 1 представлена столбчатая диаграмма важности признаков, оцененных на смоделированных данных с добавлением стандартного гауссовского шума.

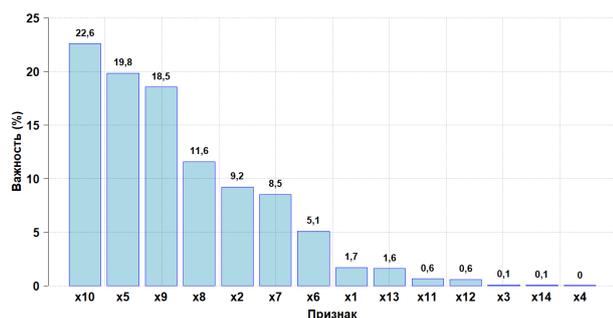


Рис. 1 – Оцененная важность признаков по методу случайного леса с критерием прироста информативности индекс Джинни

Наиболее информативными признаками являются:  $X_{10}$  — логарифм вероятности ошибки в рядах;  $X_9$  —  $p$ -величина теста Пуассона;  $X_5$  — энтропия сайта. Однако здесь не учтена корреляция между признаками, которая может достигать порядка 60%.

После сравнения ансамбля моделей случайного леса, обученных на разных комбинациях признаков, наибольшую точность в 98,26% имеет

модель, обученная на следующих 4-х признаках:  $X_{10}$  — логарифм вероятности ошибки в рядах;  $X_9$  —  $p$ -величина теста Пуассона;  $X_1$  — относительное число покрытий референсного нуклеотида;  $X_2$  — относительное число покрытий 1-го нереференсного канала.

Они являются уравновешенными и логичными: присутствует вероятность ошибки в рядах, результат одного из статистических тестов, а также числа покрытий в референсном и первом нереференсном каналах.

Сравнение времени выделения признаков на 1000 исходных сайтов выполнено на персональном компьютере, обладающим 12 ядерным процессором AMD Ryzen 5900X (3.7 GHz). В однопоточной реализации на языке R усредненное время выделения простейших признаков  $X_1 - X_4$  занимает 0,39 с, отобранных признаков  $X_1, X_2, X_9, X_{10}$  — 1,6 с, полного набора признаков  $X_1 - X_{14}$  — 38 с.

## IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения задачи определения сайтов однонуклеотидного полиморфизма с использованием методов интеллектуального анализа данных в общем случае рассмотрены 23 признака. Они разделены на дифференциальные, используемые для методов машинного обучения и интегральные, применимые для методов с учетом порядка структуры генома.

Определены наиболее информативные и независимые признаки для задачи идентификации сайтов SNP с использованием методов машинного обучения. Это признаки  $X_{10}$  — логарифм вероятности ошибки в рядах;  $X_9$  —  $p$ -величина теста Пуассона;  $X_1$  — относительное число покрытий референсного нуклеотида;  $X_2$  — относительное число покрытий 1-го нереференсного канала.

Недостатком предложенных признаков является существенное возрастание времени их выделения. Время работы алгоритма с новыми признаками возрастает примерно в 4 раза.

1. Sung, W.-K. Algorithms for next-generation sequencing / Wing-Kin Sung // Chapman & Hall/CRC Comput Biol Series. — 2017. — P. 175-185.
2. Oh, J. H. SITDEM: A simulation tool for disease/endpoint models of association studies based on single nucleotide polymorphism genotypes / J. H. Oh, J. O. Deasy // Comput Biol Med, Volume 45. — 2014. — P. 136-142.
3. Имитационная модель генерации сайтов однонуклеотидного полиморфизма в молекулах ДНК человека / Д. Д. Сарнацкий [и др.] // СТДА'24. — 2024. — Материалы. — С. 265-268.
4. A support vector machine for identification of single-nucleotide polymorphisms from next-generation sequencing data / B. D. O'Fallon [et al.] // Bioinformatics, Volume 29. — 2013. — P. 1361-1366.
5. Sequence Alignment/Map Format Specification [Electronic recourse] / — Mode of access: <https://samtools.github.io/hts-specs/SAMv1.pdf>. — Date of access: 24.10.2024.
6. О.В. Классические методы машинного обучения / А.В. Кугаевских [и др.] // Университет ИТМО. — 2022. — С. 36-40, 42-45.

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА ПО МАТЕМАТИКЕ «ФРИДМАН»

Труханович А. Д., Чалей А. А.  
УО "Национальный детский технопарк"  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: {alexeytr995577, durecorderan}@gmail.com

*В рамках работы была рассмотрена интеллектуальная обучающая система по математике «ФРИДМАН», разработанная с целью повышения эффективности обучения математике за счёт оценки уровня знаний пользователя, а также предоставления релевантных материалов для обучения.*

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение математики является необходимым и важным аспектом образовательного процесса. Для эффективного обучения должны быть качественно подобранные и структурированные материалы, которые предоставлялись бы обучаемому в нужном порядке и объёме в зависимости от его уровня знаний. На сегодняшний день существуют различные сервисы и обучающие системы по математике [1,2]. Однако, они обладают рядом недостатков, связанных с отсутствием оценки уровня знаний пользователя, а также с предоставлением релевантных материалов для обучения.

В данной работе рассматривается интеллектуальная обучающая система «ФРИДМАН», которая была спроектирована и разработана с целью устранения указанных недостатков.

## I. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

В качестве основы для интеллектуальной обучающей системы «ФРИДМАН» была выбрана Технология OSTIS[3], которая позволяет значительно упростить процесс создания интеллектуальных систем.

Каждая интеллектуальная система, разрабатываемая по Технологии OSTIS(ostis-система), включает 3 основных компонента: базу знаний, решатель задач и пользовательский интерфейс.

База знаний состоит из иерархической системы предметных областей и соответствующих им онтологий.

В базе знаний системы было выделено 5 основных предметных областей:

- Предметная область пользователей – для хранения знаний о типах пользователей и всей информации о них.
- Предметная область показателей продвижения пользователей – для хранения знаний о статистике пользователей (опыт, рейтинг, уровень знаний по каждой основной теме).
- Предметная область действий пользователей – для хранения знаний о возможных действиях пользователя в системе (регистрация, вход в систему, просмотр профиля, получение каталога, решение задач).
- Предметная область математики – для хранения знаний об обучающих материалах.

- Предметная область общего среднего образования – для хранения знаний, связанных с образованием (школьный класс пользователя, уровень сложности задач в рамках разных классов, рекомендации задач и теории, основанные на данных о пользователе).

В предметной области математики описано детальное разбиение тем на подтемы, включая их порядок. База знаний формализована при помощи SC-кода[3]. Все классы, отношения, темы, задачи, теоремы представлены на языке SCs[3]. Всего в базе знаний содержится более 15000 узлов, более 14000 файлов ostis-систем и более 300000 дуг.

В рамках решателя задач системы было выделено 15 агентов:

- Агент получения формулировки задачи для пользователя по её номеру;
- Агент проверки ответа пользователя на заданную задачу;
- Агент обновления уровня знаний пользователя;
- Агент обновления статистики пользователя;
- Агент формулировки подсказки к заданной задаче;
- Агент формулировки полного решения к заданной задаче;
- Агент формулировки краткого решения к заданной задаче;
- Агент формулировки ответа к заданной задаче;
- Агент получения определения теоремы
- Агент получения каталога разделов;
- Агент получения каталога задач;
- Агент получения каталога теорем;
- Агент подбора задачи для заданного пользователя;
- Агент создания профиля пользователя;
- Агент получения профиля пользователя.

Указанные агенты были разработаны на языке программирования Python.

Пользовательский интерфейс реализован в виде бота Telegram (Fridman), который обеспечивает доступность, удобство и простоту использования.

Пользователю доступны следующие 11 команд:

- Команда регистрации;
- Команда отмены регистрации;
- Команда просмотра профиля;
- Команда получения условия задачи;
- Команда получения подсказки к задаче;
- Команда получения ответа на задачу;
- Команда получения полного решения задачи;
- Команда получения краткого решения задачи;
- Команда ответа на задачу;
- Команда получения каталога;
- Команда индивидуального подбора задачи.

## II. ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ

При первом обращении к системе пользователь проходит регистрацию. При регистрации указываются ФИО пользователя, его класс, его город и предполагаемый уровень знаний от 0 до 7. В дальнейшем пользователь может просмотреть эту информацию у себя в профиле. Также в профиле отображается статистика пользователя, его опыт, рейтинг и актуальный уровень знаний пользователя по каждой теме. При этом статистика пользователя изменяется в зависимости от решаемых задач, их уровня сложности и уровня знаний пользователя.

При вводе команды получения каталога появляются кнопки навигации по математическим темам и подтемам – кнопки с названиями этих тем и подтем и кнопка "Назад" – а также кнопки "Показать задачи" и "Показать теоремы". При нажатии на кнопку "Показать задачи" отображаются номера задач, соответствующих выбранной теме. Указав номер задачи, можно получить её условие и все варианты решения, подсказку или ответ. Для некоторых задач присутствует возможность ввода ответа для проверки системой с последующим изменением статистики и уровня знаний при условии, что пользователь не просматривал решение или ответ данной задачи. Уровень знаний пользователя в системе изменяется в зависимости от правильности введённого ответа, в то время как опыт и рейтинг изменяются только в том случае, если ответ правильный.

Пользователь имеет возможность запросить рекомендуемую для решения задачу на основе

знаний о нём системы. Пример взаимодействия пользователя с системой представлен на рисунке 1.

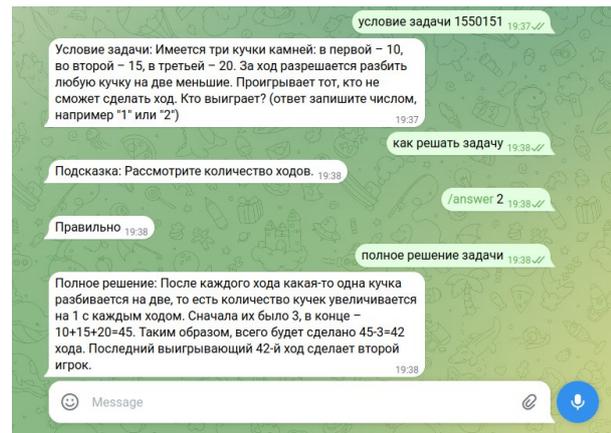


Рис. 1 – Пример диалога с системой

## III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках работы была рассмотрена интеллектуальная обучающая система по математике «ФРИДМАН», разработанная с целью повышения эффективности обучения математике за счёт оценки уровня знаний пользователя, а также предоставления релевантных материалов для обучения. Исходный код системы открыт и доступен[4]. В дальнейшем планируется проведение тестирования пользователей для более корректной оценки уровня знаний, составление таблицы рейтинга среди пользователей, расширение перечня задач и теорем, добавление достижений.

## IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интернет-проект «Задачи» [Электронный ресурс] / Problems.ru – Режим доступа: <https://problems.ru/>. – Дата доступа: 24.10.2024.
2. База знаний и набор вычислительных алгоритмов Wolfram|Alpha [Электронный ресурс] / Wolfram Alpha – Режим доступа: <https://www.wolframalpha.com/>. – Дата доступа: 24.10.2024.
3. Голенков, В. В. Открытая технология онтологического проектирования, производства и эксплуатации семантически совместимых гибридных интеллектуальных компьютерных систем / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина, Д. В. Шункевич. – Минск : Бестпринт, 2021. – 690 с.
4. Проект «ФРИДМАН» [Электронный ресурс] / «ФРИДМАН» – Режим доступа: <https://github.com/chalanbek/fridman>. – Дата доступа: 24.10.2024.

# АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТОИМОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Щерба А. П., Нестеренков С. Н.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: scherba891@gmail.com, s.nesterenkov@bsuir.by

*В работе рассматриваются алгоритмы прогнозирования стоимости автомобилей с использованием методов машинного обучения, этапы их развития и ключевые факторы успеха. Обсуждаются основные концепции предсказательных моделей, важность выбора признаков и обработки данных, а также использование различных алгоритмов, таких как линейная регрессия, деревья решений и нейронные сети. Проводится анализ мировых трендов и актуальных решений в области машинного обучения для оценки стоимости автомобилей в различных сегментах. Кроме того, рассматриваются инструменты разработки и программного обеспечения, поддерживающие процесс построения моделей, а также задачи создания точных и эффективных алгоритмов, способных работать с большими массивами данных в открытой экосистеме прогнозирования.*

## ВВЕДЕНИЕ

Прогнозирование стоимости автомобилей является важной задачей в автомобильной индустрии, особенно для продажи, покупки и страхования транспортных средств. Методы машинного обучения (ML) позволяют автоматизировать процесс оценки стоимости автомобилей, обеспечивая более точные и оперативные предсказания на основе множества факторов. Современные ML-алгоритмы могут анализировать большие объемы данных и выявлять скрытые закономерности, что делает их идеальными инструментами для решения этой задачи.

### I. ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Алгоритмы машинного обучения, такие как регрессия, деревья решений и нейронные сети, используются для анализа различных факторов, влияющих на стоимость автомобиля, таких как возраст, пробег, марка, модель, техническое состояние и другие параметры. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор конкретного подхода зависит от доступных данных и требуемой точности прогнозов.

- **Регрессионные методы.** Линейная регрессия и её улучшенные версии, такие как полиномиальная регрессия, позволяют строить зависимость между признаками и целевой переменной – стоимостью автомобиля. Эти методы хорошо подходят для моделирования относительно простых данных с линейными зависимостями, но могут быть недостаточны для сложных сценариев.
- **Деревья решений и ансамблевые методы.** Случайный лес и градиентный бустинг – это ансамблевые методы, которые строят предсказания на основе объединения решений нескольких деревьев решений. Эти

методы являются более гибкими и часто показывают высокую точность при работе с данными о стоимости автомобилей.

- **Нейронные сети.** Глубокие нейронные сети применяются для анализа сложных нелинейных зависимостей и могут обеспечить высокую точность прогнозов. Однако они требуют больших объемов данных и вычислительных ресурсов для обучения.

### II. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА

Применение машинного обучения в прогнозировании стоимости автомобилей предоставляет ряд уникальных преимуществ:

- **Точность предсказаний.** Методы машинного обучения позволяют учитывать множество факторов одновременно, что повышает точность прогнозов. В отличие от традиционных статистических методов, ML-алгоритмы могут выявлять сложные зависимости, которые не очевидны для человека. Кроме того, использование алгоритмов машинного обучения позволяет значительно сократить влияние субъективных факторов на процесс оценки стоимости.
- **Адаптивность.** Системы на основе машинного обучения могут адаптироваться к новым данным. Это особенно важно в условиях меняющегося рынка автомобилей, где стоимость транспортных средств может изменяться в зависимости от сезонных факторов, экономической ситуации и состояния рынка.
- **Автоматизация процесса.** Автоматизация оценки стоимости с помощью ML-алгоритмов позволяет сократить время на проведение анализа, минимизировать чело-

веческие ошибки и стандартизировать процесс оценки.

### III. ВЫЗОВЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Несмотря на множество преимуществ, использование методов машинного обучения для прогнозирования стоимости автомобилей связано с рядом технологических вызовов:

- **Качество данных.** Одной из ключевых проблем является наличие и качество данных. Недостаток информации, пробелы в данных или наличие некорректных значений могут негативно повлиять на качество прогнозов. Для решения этой проблемы необходима тщательная предварительная обработка данных, включая их очистку и нормализацию.
- **Сложность моделей.** Более сложные модели, такие как нейронные сети, требуют значительных вычислительных ресурсов для обучения. Это может стать препятствием для их использования в условиях ограниченных ресурсов или при необходимости быстрого получения результатов.
- **Переобучение.** При работе с небольшими или избыточными наборами данных модели могут переобучаться, что снижает их способность к обобщению на новых данных. Для борьбы с этим применяются техники регуляризации и использование ансамблей моделей.

### IV. ПРИМЕРЫ РЕАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Прогнозирование стоимости автомобилей на основе методов машинного обучения уже активно используется в различных областях, демонстрируя широкий спектр возможностей для автоматизации и повышения точности оценок.

- **Автодилеры** применяют ML-алгоритмы для автоматической оценки автомобилей на основании их технических характеристик, возраста, пробега и рыночной ситуации. Благодаря машинному обучению, процесс оценки значительно ускоряется, становится более объективным и минимизирует человеческий фактор, что особенно полезно при работе с большими объемами автомобилей.
- **Страховые компании** используют прогнозные модели для более точного определения страховых премий на основе таких факторов, как возраст автомобиля, его состояние, пробег, а также статистических данных о частоте аварий и технических неисправностях для аналогичных моделей. Это позволяет страховым компаниям точнее рассчитывать риски и предлагать индивидуализированные страховые полисы.
- **Онлайн-платформы** для продажи автомобилей (например, CarGurus, AutoTrader,

Drom) внедряют машинное обучение для предсказания рыночной стоимости автомобилей. Такие платформы анализируют историю продаж, рыночные тенденции, региональные особенности и параметры автомобилей, чтобы помочь продавцам установить справедливую цену, а покупателям — получить лучшее предложение.

### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Алгоритмы машинного обучения предоставляют мощные инструменты для прогнозирования стоимости автомобилей, делая процесс оценки более точным, быстрым и адаптивным. Современные подходы, такие как линейная регрессия, деревья решений и нейронные сети, способны учитывать многочисленные факторы, включая марку, модель, возраст автомобиля, пробег и рыночные тенденции. Эти методы помогают выявлять сложные зависимости и паттерны, которые могут быть упущены традиционными статистическими методами.

Тем не менее, несмотря на очевидные преимущества, точность алгоритмов сильно зависит от качества данных. Данные должны быть тщательно очищены и подготовлены для того, чтобы алгоритмы машинного обучения могли достичь оптимальных результатов. Более того, такие методы требуют значительных вычислительных ресурсов, особенно при работе с большими наборами данных.

С развитием технологий и увеличением объемов доступных данных, возможности машинного обучения в оценке стоимости автомобилей будут только расти. Эти алгоритмы станут незаменимыми инструментами для автодилеров, страховых компаний и частных покупателей, помогая им принимать более обоснованные и точные решения на рынке автомобилей.

### VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучеренко, В. Т. Прогнозирование дневного количества осадков методами машинного обучения / В. Т. Кучеренко, С. Н. Нестеренков, И. В. Шилов, А. Н. Марков // *BIG DATA and Advanced Analytics = BI DATA и анализ высокого уровня: сб. научных статей VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 11-12 мая 2022 года)* / редкол.: В. А. Богущ [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2022. – С. 320-324.
2. Нестеренков, С. Н., & Белов, К. П. (2017). Модифицированный генетический алгоритм для обучения нейронной сети. В *Информационные технологии и системы 2017 (ИТС 2017): материалы международной научной конференции, Минск, 25 октября 2017 г.*, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.] (с. 204-205). Минск.
3. Balcioglu, Y. S., & Sezen, B. (2024). Car Price Prediction Using Machine Learning Techniques. In *Proceedings of the 6th International Artemis Congress on Health and Sport Sciences*.
4. Gron, A. (2020). The Price of Cars in the Automobile Industry: The Effect of Market Structure on Car Prices. *The RAND Journal of Economics*, 31(1), 124-139.

# FEATURE-ENHANCED SMALL-TARGET DETECTION

Gao YuHang, Guo Hanasi

Belarusian State University Department of Applied Mathematics

Department of Business Administration, Business School, Belarusian State University

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: g15535458181@gmail.com, 3532803499@qq.com

*Detecting small targets from images is still a challenging problem in computer vision due to the limited size, few appearance and geometric cues, and the lack of large-scale small target datasets. To address this problem, an adaptive feature-enhanced target detection network (YOLO-FENet) is proposed to improve the detection accuracy of small targets. Firstly, an improved adaptive two-way feature fusion module is designed by introducing a feature fusion factor to make full use of the feature maps of various scales to improve the feature expression ability of the network; secondly, a spatial attention generation module is proposed by combining the characteristics of the network, which improves the feature localization ability of the network by learning the positional information of the region of interest in the image. The experimental results on the UAVDT dataset show that the average precision (AP) of the proposed YOLO-FENet is 6.3 percentage points higher than that of the pre-improvement YOLOv5, and it is also better than other target detection networks.*

## INTRODUCTION

Target detection techniques are the basis of many computer vision tasks such as instance segmentation, image captioning, target tracking, etc., and have been widely used in the fields of video surveillance, automatic driving, medical diagnosis, etc [1]. Deep learning has made significant contributions to the development of target detection technology, the existing target detection technology is mostly based on deep learning technology [2], which can be divided into two categories: 1) two-stage target detection algorithms (two-stage), such as the RCNN series [3-5] has the advantage of high accuracy; 2) single-stage target detection algorithms (one-stage), The detection speed is relatively faster, such as YOLO series [6-9], SSD series [10], and so on.

## I. RELATED WORK

YOLOv5 is the 5th generation target detection algorithm of YOLO series: it includes YOLOv5s, YOLOv5m, YOLOv5l, YOLOv5x and other networks of different sizes. Compared with YOLOv4, YOLOv5 introduces the focus module and the adaptive anchor frame calculation before training the network, which has the features of small weight file, short training time and faster inference, and its overall structure is shown in Figure 1.

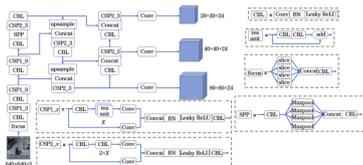


Figure 1 – Details of YOLOv5 network

YOLOv5 consists of four parts: input, backbone, neck and head. The input part of YOLOv5 consists of two main parts: data enhancement and adaptive anchor frame calculation. Data enhance-

ment includes input image resizing, color space conversion, and mosaic data enhancement: adaptive anchor frame computation first computes the maximum possible recall (BPR) of the default anchors, and if the BPR is less than 98%, the anchors are updated using K-means and genetic algorithms. In the feature extraction network, YOLOv5 adds a new focus module to reduce the number of parameters and computational complexity of the network. YOLOv5 adopts the path aggregation network (PANet) structure as the multiscale feature fusion module with top-down and bottom-up features. The convolution part adopts the CSP structure which is different from that of the backbone network for better diversity and robustness. The detection head is responsible for localizing and identifying the target and outputting the final detection result.

## II. YOLO-FENET MODEL ANALYSIS

The YOLOv5 target detection algorithm has received a lot of attention for its excellent performance in terms of model size and detection speed. At the same time, YOLOv5 experiments on the PASCAL VOC and COCO datasets demonstrate that the network PASCAL VOC and COCO datasets demonstrated the advantages of the network in terms of detection accuracy. YOLOv5 has demonstrated the advantages of the network in terms of detection accuracy. However, the research content of YOLOv5 is on generalized target detection, and the network design has not taken much consideration of the characteristics of small targets, so the network needs to be improved. Therefore, the network needs to be improved and optimized to be suitable for small target scenarios. The proposed YOLO - AFENet consists of a feature extraction network, an improved self adaptive multi-scale fusion network, and a spatial attention generation network (SAGN). The overall structure of the network is shown in Figure 2.

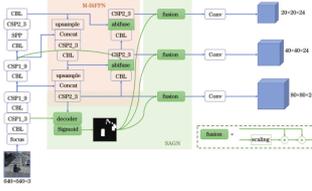


Figure 2 – Details of YOLOv5 network

YOLOv5 implements a multi-scale feature fusion module using the PANet structure, as shown in Fig. 3(a). This structure improves the detection accuracy by bi-directionally fusing the semantic information of the deep feature maps and the localization information of the shallow feature maps, but it introduces more parameters and computations, which reduces the efficiency of the model, and PANet simply assumes that feature maps at different stages have the same contribution to the final fusion result, so that the effect of feature fusion needs to be further improved. In order to improve the model efficiency and fusion effect, this study combines the idea of BiFPN and designs an improved MBiFPN based on PANet, the specific structure is shown in Fig. 3(b). Among them,  $P_i$  represents the feature map of layer  $i$  in the backbone layer,  $O_i$  represents the output feature map of the neck module, and  $F_i$  and  $N_i$  represent the intermediate feature maps generated by the neck layer.

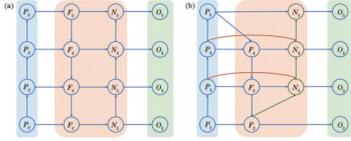


Figure 3 – Structures of PANet and MBiFPN. (a) PANet; (b) MBiFPN

### III. EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYSIS

In order to verify the validity and reliability of the proposed method, this experiment adopts the dataset UAVDT proposed by Du et al. at the 2018 European Conference on Computer Vision, which can be divided into three categories of detection targets, namely, cars, trucks, and buses, and is composed of UAVs in a variety of complex scenes. The dataset contains more common scenes such as plazas, highways, and intersections. The dataset contains 50 video clips, of which 30 video sequences are used for training (containing 23829 images), and the remaining 20 video sequences are used for testing (containing 16580 images), with a resolution of  $1024 \times 540$  per frame. In addition, the dataset provides attributes such as weather, view angle, and altitude. In addition, the dataset is labeled with attributes such as weather, viewing angle and altitude. The relationship between the number of small, medium and large targets in the dataset is shown in Table 1

Table 1 – Size Distribution of object in dataset

object	Small object	Medium object	Large object	Total
number	61.9%	36.4%	1.7%	100%

### IV. ENHANCING MODEL PERFORMANCE

The loss function of YOLOFENet consists of 4 parts, which are location loss, confidence loss, classification loss and attention loss:

$$L_{total} = \alpha L_{CIoU} + \beta (L_{obj} + L_{SAGN}) + \gamma L_{class}$$

where:  $\alpha, \beta, \gamma$  are the weights of the corresponding loss functions, taking the values of 0.05, 0.07 and 0.03. LSAGN denotes the loss of attention and is used to optimize the network. The SAGN module is used to generate foreground/background spatial attention maps, which can be regarded as a two-class image segmentation problem, so the loss function is a binary cross-entropy loss function.

$$L_{SAGN} = -[y_i \log \hat{y}_i + (l - y_i) \times \log(l - \hat{y}_i)],$$

$y_i$  denotes the true label of sample  $i$ ;  $y_i$  is its corresponding network predictive label.  $l$  is its corresponding network prediction label.

### V. CONCLUSION

The proposed small target detection algorithm improves the detection accuracy while ensuring that the detection speed is not significantly reduced. However, the algorithm still has some problems, such as the loss function does not consider the characteristics of the long-tailed distribution of the dataset, The algorithm's detection performance for large targets is not obvious, etc. Therefore, the network design can be further optimized to improve the detection performance of the network.

1. Zou Z X, Shi Z W, Guo Y H, et al. Object detection in 20 years: a survey[EB/OL]. (2019-05-16) [2021-11-15]. <https://arxiv.org/abs/1905.05055>.
2. Jiao L C, Zhang F, Liu F, et al. A survey of deep learning-based object detection[J]. IEEE Access, 2019,7: 128837-128868.
3. Ren S Q, He K M, Girshick R, et al. Faster R-CNN:towards real-time object detection with region proposal networks[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(6): 1137-1149
4. Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., et al. (2014) Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation. 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Columbus, 23-28 June 2014,580-587. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2014.81>
5. He, K., Zhang, X., Ren, S., et al. (2014) Spatial Pyramid Pooling in Deep Convolutional Networks for Visual Recognition. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 37,1904-1916. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2015.2389824>.
6. Ren, S., He, K., Girshick, R., et al. (2017) Faster R-CNN: Towards Real-Time Detection with Region Proposal Networks. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 39, 1137-1149. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2577031>

Секция «Проектирование  
встраиваемых систем»

Section «Embedded Systems Design»



# БАЗОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОПИСАНИЙ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ ПУТЕМ ВЫДЕЛЕНИЯ СВЯЗАННЫХ ПОДСИСТЕМ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

Бибило П. Н., Кириенко Н. А.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {bibilo, kir}@newman.bas-net.by

*Представлены четыре базовых алгоритма для выделения в многоуровневых формульных представлениях систем булевых функций связанных подсистем. Алгоритмы используются на первом этапе синтеза – технологически независимой оптимизации функциональных описаний комбинационных схем. Предложены три формулы для оценки меры связанности подсистемы функций по критериям числа общих внутренних переменных и числа литералов в выделяемых подсистемах. Все алгоритмы реализованы в рамках экспериментальной системы логической оптимизации. Эксперименты показали, что этап выделения связанных подсистем из многоуровневого представления системы булевых функций позволяет часто улучшать результаты технологически независимой оптимизации блоков комбинационной логики в заказных цифровых КМОП СБИС.*

## ВВЕДЕНИЕ

Синтез комбинационных логических схем всегда предваряется оптимизацией исходного описания, в основе которой, как правило, лежат алгоритмы минимизации представлений тех систем булевых функций, которые требуется реализовать в схеме. Эти преобразования выполняются на этапе предварительной технологически независимой оптимизации. В [1] предложено повысить эффективность оптимизационных преобразований исходных описаний комбинационных схем путем выделения в многоуровневых формульных представлениях систем булевых функций связанных подсистем. В [2, 3] представлены методики и программные комплексы для проведения экспериментальных исследований новых алгоритмов выделения связанных подсистем из различных формульных представлений систем булевых функций. Настоящая работа посвящена разработке и исследованию четырех базовых алгоритмов для решения задачи выделения связанных подсистем функций из многоуровневого представления системы булевых функций.

Через  $R(F)$  обозначим множество внутренних формул, т.е. формул, задающих промежуточные (не выходные) булевы переменные для всех функций системы:

$$R(F) = R(f^1, \dots, f^m) = \cup_{i=1}^m R(f^i) \quad (1)$$

Под мерой  $q_{ur} = M_{ur}(F \cup f^{m+1})$  связанности системы функций  $(F \cup f^{m+1})$  по уравнениям [3] будем понимать величину

$$q_{ur} = \frac{|R(f^1, \dots, f^m) \cap R(f^{m+1})|}{\max(|R(f^1, \dots, f^m)|, |R(f^{m+1})|)} \quad (2)$$

где через  $|R(F)|$  обозначена мощность множества  $R(F)$ .

Через  $S(F)$  обозначим число литералов в задании всех формул системы  $F$ , задающих как промежуточные, так и выходные булевы переменные для всех функций системы  $F$ . Для определения меры связанности системы функций  $F \cup f^{m+1}$  по литералам предлагается использовать одно из следующих значений:

$$q_{lit} = \frac{S(f^1, \dots, f^m, f^{m+1})}{S(f^1, \dots, f^m) + S(f^{m+1})} \quad (3)$$

или

$$q_{lits} = \frac{S(f^1, \dots, f^m, f^{m+1})}{S(f^1) + \dots + S(f^m) + S(f^{m+1})} \quad (4)$$

## I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Дано многоуровневое формульное представление системы булевых функций  $F = (f^1(\mathbf{x}), \dots, f^m(\mathbf{x}))$ . Требуется выделить из системы минимальное число подсистем  $P^i$ , каждая из которых характеризуется заданной мерой связанности  $q_i$ , вычисляемой по формулам (2), (3) или (4), при этом мера связанности должна быть не меньше заданного ограничения  $q_{limit}$ .

## II. ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛГОРИТМОВ

Разработанные алгоритмы решения задачи различаются способом определения меры связанности и способом задания ограничения. Разработанные алгоритмы (как и соответствующие им процедуры) носят имена **Splitter1**, **Splitter2**, **Splitter3**, **Splitter4**. Отличительные особенности алгоритмов представлены в таблице.

Таблица1 – Характеристики алгоритмов

Имя алгоритма	Формула	Ограничение	Параметры
<i>Splitter1</i>	(2)	Выделяются подсистемы с максимальным коэффициентом связанности $q_i \geq q_{limit}$	$q_{limit}$
<i>Splitter2</i>	(3)	Выделяются подсистемы с максимальным коэффициентом связанности $q_i \leq q_{limit}$	$q_{limit}$
<i>Splitter3</i>	(4)	Выбираются в подсистему функции, имеющие наименьший коэффициент связанности $q_i$ , но не больший заданного порога $q_i \leq q_{limit}$	$q_{limit}$
<i>Splitter4</i>	(2)	Каждая из функций подсистемы $P^i$ обладает мерой связанности $q_r \geq q_{limit}$ , с каждой из $n$ функций подсистемы.	$q_{limit}, n$

Рассмотрим алгоритм *Splitter2*, который состоит в последовательном формировании (на каждой итерации  $i$ ) по текущей системе функций очередной подсистемы  $P^i$ , которая характеризуется мерой связанности  $q_i \leq q_{limit}$ . На первой итерации  $i=1$  текущую систему функций образуют функции исходной системы, а остаточная подсистема  $P^{ost}$  является пустой. Перед выполнением итераций алгоритма требуется составить список  $W$ , где каждой функции текущей системы поставлено в соответствие число литералов в уравнениях, задающих функцию. На каждой итерации требуется выполнить шаги 1–3.

**Шаг 1.** Выбирается первая функция из списка  $W$  и помещается в подсистему  $P^i$ . Эта функция исключается из списка  $W$ .

**Шаг 2.** Добавляются в формируемую подсистему  $P^i$  поочередно те функции  $f^r$ , которые находятся с помощью следующей эвристики: из множества функций текущей системы выбирается та функция  $f^r$ , которая обеспечивает наименьшее (но не большее  $q_{limit}$ ) возможное значение меры связанности по формуле (3) для *Splitter2*, или по формуле (4) для *Splitter3*. Если таких функций несколько, то выбирается и добавляется в формируемую подсистему  $P^i$  первая из них. Добавляемая функция исключается из списка  $W$ .

**Шаг 3.** Если нет ни одной функции  $f^r$  такой, что подсистема  $P^i \cup f^r$  имеет меру связанности, не большую  $q_{limit}$ , то закончить формирование подсистемы  $P^i$  и объявить не входящие в

нее функции текущей системой. Переход на шаг 1 для формирования подсистемы на итерации  $i+1$ .

**Шаг 4.** Закончить формирование подсистем, когда все функции текущей системы будут включены в формируемые подсистемы. Формирование подсистем заканчивается (алгоритм прекращает работу) также и тогда, когда в текущей подсистеме нельзя найти ни одной пары функций, характеризующих мерой связанности, не большей  $q_{limit}$ , либо когда в текущей системе имеется только одна функция – эта функция добавляется в остаточную подсистему  $P^{ost}$ .

#### Конец алгоритма.

Алгоритм *Splitter4* состоит в последовательном формировании очередной подсистемы  $P^i$ , которая содержит функции, характеризующиеся мерой связанности  $q_{ur} \geq q_{limit}$  (2) с не менее, чем  $n$  функциями подсистемы  $P^i$ . Параметрами алгоритма являются значение ограничения  $q_{limit}$  и  $n$ . Алгоритм *Splitter3* работает по принципу алгоритма *Splitter2* с небольшими отличиями. Алгоритм *Splitter1* отличается от алгоритма *Splitter4* тем, что за одну итерацию цикла (шаги 1 – 3) выбирается одна функция, которая обеспечивает значение меры связанности (2) не меньшее заданного значения  $q_{limit}$  со всеми функциями подсистемы  $P^i$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все алгоритмы реализованы в рамках системы логической оптимизации FLC2 [4]. Эффективность алгоритмов исследована [2, 3] на представительном наборе примеров. Эксперименты показали, что этап выделения связанных подсистем функций из многоуровневого представления системы булевых функций позволяют часто улучшать результаты технологически независимой оптимизации блоков комбинационной логики в заказных цифровых КМОП СВИС.

1. Бибило, П. Н. Выделение подсистем связанных функций из многоуровневого представления системы булевых функций / П. Н. Бибило, А. М. Позняк // Информатика. – 2020. – Т. 17. – N 1. – С. 63–77. DOI: 10.37661/1816-0301-2020-17-1-63-77
2. Бибило, П. Н. Выделение из многоуровневого представления системы булевых функций подсистем для совместной логической минимизации / П. Н. Бибило, Н. А. Кириенко, В. И. Романов // Программные продукты и системы. – 2023. – Т. 36, – N 4. – С. 197–206. DOI: 10.15827/0236-235X.142.197-206
3. Бибило, П. Н. Экспериментальное исследование алгоритма выделения подсистем булевых функций для совместной многоуровневой оптимизации / П. Н. Бибило, Н. А. Кириенко, В. И. Романов // Программная инженерия. – 2024. – Т. 15, – N 4. С. 176–189. DOI: 10.17587/prin.15.176-189.
4. Бибило, П. Н. Система логической оптимизации функционально-структурных описаний цифровых устройств на основе производственно-фреймворковой модели представления знаний / П. Н. Бибило, В. И. Романов // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем. – 2020. – Сб. трудов / под общ. ред. акад. РАН А. Л. Стемповского. – М. : ИП-ПМ РАН. – 2020. – N 4. – С. 9–16. DOI: 10.31114/2078-7707-2020-4-9-16

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КОЛЬЦЕВОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

Бурко Л. А., Иванюк А. А.

Кафедра информатики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: burkoliana@gmail.com, ivaniuk@bsuir.by

В статье рассматривается поведение физически неклонлируемых функций (ФНФ) на базе кольцевых осцилляторов (КО), которые предлагают значительное улучшение в области аппаратной защиты данных и идентификации.

## ВВЕДЕНИЕ

Существует множество способов создать уникальные идентификаторы и генераторы случайных чисел. Большинство из них имеют сложную аппаратную реализацию. Одним из способов решения данной проблемы может быть схема со счётчиком, которая действительно может быть основой для реализации физически неклонлируемой функции (ФНФ) на базе кольцевого осциллятора (КО). Эта конструкция позволяет создать уникальные сигнатуры для каждого устройства, опираясь на физические особенности конкретного экземпляра схемы. Это позволяет использовать КО-ФНФ для криптографических задач и защиты интеллектуальной собственности, предлагая отличные статистические характеристики и устойчивость к технологическим вариациям [1-2].

## I. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ КО

ФНФ описываются значениями пар входных и соответствующих им выходных параметров (сигналов). Подобная пара, состоящая из входного физического параметра (запроса) и выходного параметра (ответа), называется парой запрос – ответ [3]. Важными параметрами являются частотный диапазон КО, временное окно измерения частоты и разрядность счетчика измерения.

Для эксперимента были взяты 4 платы Digilent Zybo-Z7, в каждой размещено по 4 КО.

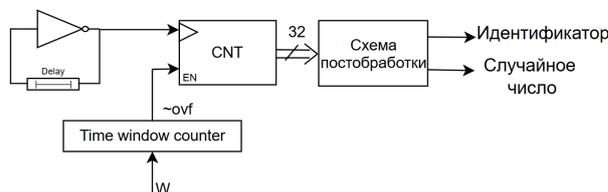


Рис. 1 – Схема генерации случайного числа и уникального аппаратного идентификатора

## II. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперимент состоит в получении и исследовании характеристик генерируемых частотных значений. Для анализа были сняты 32 набора данных по миллиону частотных значений.

Работа выполнена в совместной учебной лаборатории БГУИР-YADRO  
<https://www.bsuir.by/ru/kaf-informatiki/yadro>

В фиксированном окне измерения значения счетчика можно условно поделить на 3 зоны:

1. Стабильная зона, где на повторяющихся экспериментах значения разрядов не изменяются (на рис.2 это [0-6]). На данной зоне выполняются условия  $p(1)=0$  или  $p(1)=1$ , где  $p$  это вероятность.

2. Две метастабильных зоны, одну можно назвать сильной ([11-23]), вторую слабой ([7-10]). На сильной зоне вероятность появления 0 или 1 на определенной позиции стремится к  $p=0.5$ . Существует вопрос, какое отклонение считать нормальным. На данном этапе эксперимента отклонение было принято  $e=0.03$ . После первого значения неудовлетворяющего условию начинается слабая зона.

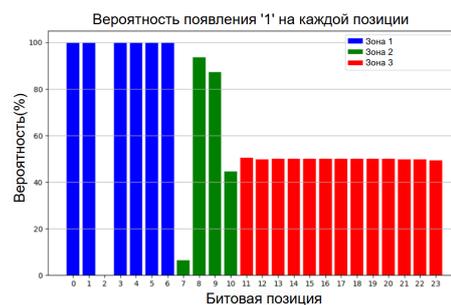


Рис. 2 – Гистограмма вероятностей появления единицы на каждой битовой позиции

На рисунке 3 показано распределение сильной метастабильной зоны.

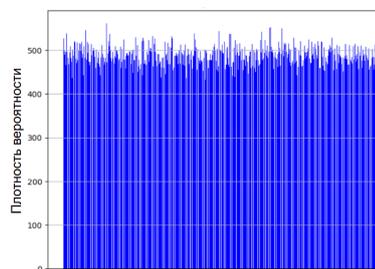


Рис. 3 – Распределение сильной метастабильной зоны

## III. ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕННОГО ОКНА НА РАЗМЕР ЗОН

Счетчик собирает количество изменений сигнала  $clk$  за временное окно  $W$ . Итого результатом

ответа является значение  $N$ . Вследствие неконтролируемых вариаций технологических процессов при изготовлении интегральной схемы значение  $N$  каждый раз будет меняться.

В ходе эксперимента, было выявлено, что длина стабильной и метастабильной частей отличаются. Для одной конфигурации были выбраны различные временные окна. Из рисунка 4 следует, что с увеличением окна увеличивается размер метастабильной и стабильной зон.

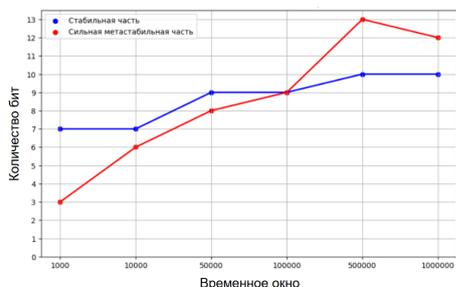


Рис. 4 – График распределения длины уникального идентификатора и сильной метастабильной зоны

Минимальная длина уникального идентификатора для разрядности 32 изменялась с четырех бит до восьми. С увеличением периода длина сильной метастабильной части увеличивается.

#### IV. ИНТЕР- И ИНТРА-УНИКАЛЬНОСТЬ

На рисунке 5 показаны идентификаторы, т.е. стабильные многоразрядные ответы, исследуемых ПЛИС. Черным цветом обозначены «элементы памяти», которые сохраняют значение 1 в результате 1000000 измерений, белым — сохраняющие значение 0. Для каждой пары среди стабильных зон было посчитано удельное расстояние Хэмминга – количество различающихся позиций для строк с одинаковой длиной деленное на длину. Для выделения восьми бит были добавлены значения из слабой метастабильной зоны по мажоритарному признаку. Интра-уникальность – среднее значение расстояний Хэмминга для каждой из ПЛИС. Интер-уникальность – среднее значение расстояний Хэмминга для каждого из каналов

среди различных ПЛИС. Результаты представлены в таблице 1. *СН0-СН3* – каналы.

Таблица 1 – Удельное расстояние Хэмминга

Интра-уникальность		Интер-уникальность	
ПЛИС1	0.5	СН0	0.459
ПЛИС2	0.375	СН1	0.417
ПЛИС3	0.395	СН2	0.479
ПЛИС4	0.459	СН3	0.375

Построенные таким образом идентификаторы обладают достаточно высокими значениями внутри и межкристальной уникальности.

#### V. ВЫВОД

Реализация ФНФ на КО представляет собой простое и эффективное схмотехническое решение, которое позволяет решать две ключевые задачи: для целей идентификации можно использовать сильную детерминированную зону, а для генерации случайных чисел – метастабильную зону, которая более чувствительна к случайным воздействиям и менее предсказуема.

В процессе исследования было установлено, что параметры зон существенно зависят от размера временного окна и рабочей частоты. Таким образом, баланс между размером окна и частотой работы позволяет гибко настраивать параметры ФНФ для оптимизации работы как в режиме идентификации, так и в режиме генерации случайных чисел, что делает данное решение универсальным для различных приложений, связанных с безопасностью и защитой данных.

#### VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. А. Иванюк, Применение конфигурируемых генераторов импульсов для идентификации ПЛИС. Информатика. 2011; (4(32)):113-123. [https://inf.grid.by/jour/article/view/343?locale=ru\\_RU](https://inf.grid.by/jour/article/view/343?locale=ru_RU)
2. А. А. Иванюк, В. Н. Ярмолик, Физически неклонированные функции на базе управляемого кольцевого осциллятора. Безопасность информационных технологий. 2023; (3(30)):90-103 <https://bit.spels.ru/index.php/bit/article/view/1532>
3. В. Н. Ярмолик, Ю.Г. Вашинко, Физически неклонированные функции. Информатика. 2011; (2(30)):90-100. [https://inf.grid.by/jour/article/view/370?locale=ru\\_RU](https://inf.grid.by/jour/article/view/370?locale=ru_RU)

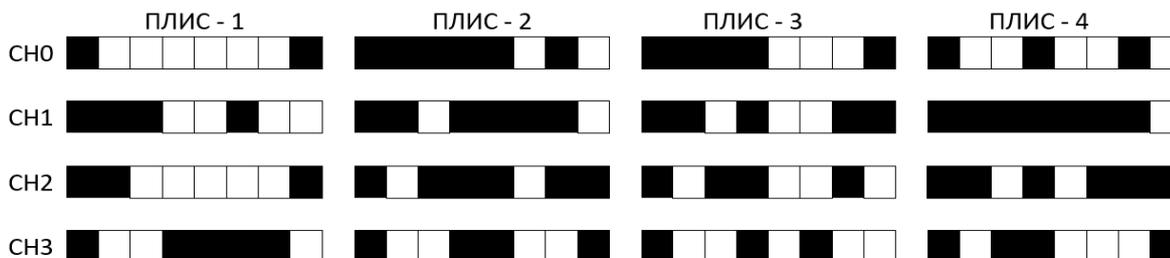


Рис. 5 – Идентификаторы для исследуемых ПЛИС

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЯЕМЫХ ТЕСТОВ ПАМЯТИ С ЗАДАНЫМ РАССТОЯНИЕМ ХЭММИНГА

Деменковец Д. В., Леванцевич В. А.  
Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: Demenkovets@bsuir.by, lvn@bsuir.by

*В работе описывается эксперимент дающий оценку эффективности управляемого вероятностного теста, состоящего из четырех наборов с заданным расстоянием Хэмминга, в сравнении с другими наборами выбранными случайно для обнаружения неисправностей взаимного влияния ОЗУ*

## ВВЕДЕНИЕ

Тестирование вычислительных систем остается основным способом проверки качества программных и аппаратных средств вычислительных систем и их приложений. Однако тестирование остается трудоемким, медленным и несовершенным процессом.

Вероятностное тестирование (Random Testing) тестирование простое, легко реализуется [1]. Но существенным недостатком данного вида тестирования является невысокая эффективность. В настоящее время развиваются методы построения тестов, где случайный фактор не играет преобладающую роль. Примером такого вида тестирования является адаптивное вероятностное тестирование (Adaptive Random Testing) или управляемое вероятностное тестирование (Controlled Random Testing) [2,3].

Данный вид тестирования и его многочисленные модификации, основаны на вычислении некоторых характеристик для управляемого формирования очередного случайного тестового набора. Большинство известных подходов генерирования адаптивных вероятностных тестов основано на применении расстояния Хэмминга в качестве характеристики определяющей выбор очередного набора.

Управляемые вероятностные тесты находят широкое применение при тестировании вычислительных систем и их составных компонент [1,2]. Во всех случаях эффективность управляемых вероятностных тестов сравнивается с эффективностью вероятностных тестов состоящих из такого же количества тестовых наборов.

В случае запоминающих устройств применение вероятностных тестов, состоящих из  $p$  наборов, конкретного вида неисправности  $Fault$ , позволяет достичь полноты покрытия  $FC_{Test}(Fault, p)$  их сложных неисправностей оцениваемой выражением.

$$FC_{Test}(Fault, p) = \left(1 - \left(1 - \frac{FC_{Test}(Fault)}{100\%}\right)^p\right)$$

Значение  $FC_{Test}(Fault)$  показывает процентное отношение количества обнаруженных конкретных неисправностей при использовании од-

ного вероятностного набора и заданной неразрушающей маршевой процедуры тестирования. В случае запоминающих устройств, случайный тестовый набор используется в качестве начального состояния его ячеек, а под сложными их неисправностями понимаются неисправности взаимного влияния [1].

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОЦЕНКА

С целью оценки эффективности управляемых вероятностных тестов был реализован следующий эксперимент. Было спроектировано программное средство, в котором смоделировано оперативное запоминающее устройство с общим количеством ячеек памяти равным  $n=32$ .

Для реализации процедуры тестирования  $Test$  применялся классический неразрушающий маршевый тест Николаидиса под названием ТМАТС [1]. Данный тест состоит из двух фаз. Начальная фаза, предназначенная для вычисления эталонных значений сигнатуры  $SF$  имеет вид:  $\{\uparrow(ra); \uparrow(r\bar{a})\}$ . На данной выполняется чтение значений ячеек памяти в порядке возрастания адресов. После этого выполняется чтение инверсных значений ячеек памяти, также в порядке возрастания адресов. Вторая фаза, представляющая собой базовый тест, представляется в виде:  $\{\uparrow(ra, u\bar{a}); \uparrow(r\bar{a})\}$  и предназначена для вычисления реальной сигнатуры при наличии неисправности в запоминающем устройстве. Для получения эталонной сигнатуры  $SF$ , соответствующей содержанию ОЗУ без внесенных неисправностей, перед выполнением базового теста запускается начальная фаза теста. Для обнаружения неисправностей результаты всех операций чтения второй фазы теста сжимаются с помощью сигнатурного анализатора в реальную сигнатуру  $SR$ . Далее сигнатуры сравниваются, и их неравенство  $SF \neq SR$  устанавливает обнаружение внесенной в ОЗУ неисправности. В противном случае, когда  $SF = SR$  фиксируется факт необнаружения неисправности или об ее отсутствии.

Для анализа использовался регистр сдвига с линейной обратной связью. Сигнатурный анализатор описывался примитивным порождающим полиномом  $\varphi(x) = 1 + x^3 + x^{12} + x^{16}$ .

Проводимый эксперимент состоял в многократном применении вероятностного теста состоящего из четырех наборов начальных состояний ОЗУ, сгенерированных случайным образом (комплект 1). Состояние каждой ячейки ОЗУ 0 либо 1 формировалось равновероятно и независимо от состояния других ячеек памяти. Подобный тест многократно повторялся, и для каждой его итерации оценивалось обнаружение, либо необнаружение смоделированной неисправности ОЗУ. В качестве вносимых сложных неисправностей ОЗУ на каждой итерации эксперимента случайным образом выбиралась одна из восьми неисправностей взаимного влияния прямого действия (*idempotent coupling faults (CFid)*):  $\wedge\langle\uparrow, 0\rangle$ ,  $\wedge\langle\uparrow, 1\rangle$ ,  $\wedge\langle\downarrow, 0\rangle$ ,  $\wedge\langle\downarrow, 1\rangle$ ,  $\vee\langle\uparrow, 0\rangle$ ,  $\vee\langle\uparrow, 1\rangle$ ,  $\vee\langle\downarrow, 0\rangle$ ,  $\vee\langle\downarrow, 1\rangle$  и определялись адреса ячейки агрессора и ячейки жертвы [1].

Далее выполнялся запуск процедуры тестирования Test (ТМАТS). Первоначально выполняется тестирование на первом случайном состоянии ячеек ОЗУ, т.е. первом тестовом наборе из комплекта 1 вероятностного теста. В случае несовпадения сигнатур, реальной и эталонной фиксируется факт обнаружения неисправности и выполняется переход к следующей итерации вероятностного теста. При совпадении сигнатур, выполняется переход к тестированию на втором тестовом наборе комплекта 1 вероятностного теста текущей итерации. В случае совпадения сигнатур для второго набора выполнялось тестирование на третьем наборе комплекта 1. Таким образом, устанавливался факт обнаружения либо необнаружения внесенной неисправности взаимного влияния для каждой итерации вероятностного теста. По окончании всех заданных итераций вероятностного теста вычислялась процентная полнота покрытия  $FC_{Test}(Fault, 4)$  неисправностей взаимного влияния.

Аналогичным образом последовательно выполнялось тестирование и на фиксированных начальных состояниях соответствующих управляемым вероятностным тестам с заданным расстоянием Хэмминга. Применялись тесты, состоящие из четырех тестовых наборов (комплект 2) обеспечивающих расстояние Хэмминга больше либо равно 16. Пример этого вероятностного теста  $T$  графически представлен в табл. 1 для ОЗУ состоящего из матрицы запоминающих ячеек, обеспечивающего заданное расстояние Хэмминга. Светлый тон ячеек означает, что в ней хранится значение ноль, если тон темный, хранимое значение единица.

Результаты экспериментов для количества итераций  $n=100$ ,  $n=1000$ ,  $n=10000$  для вероятностных тестов комплекта 1 и управляемых вероятностных тестов комплекта 2 приведены на рис. 1.

Таблица 1 – Управляемый вероятностный тест для ОЗУ, состоящий из четырех наборов (комплект 2)

T	ОЗУ RAM
T1	
T2	
T3	
T4	

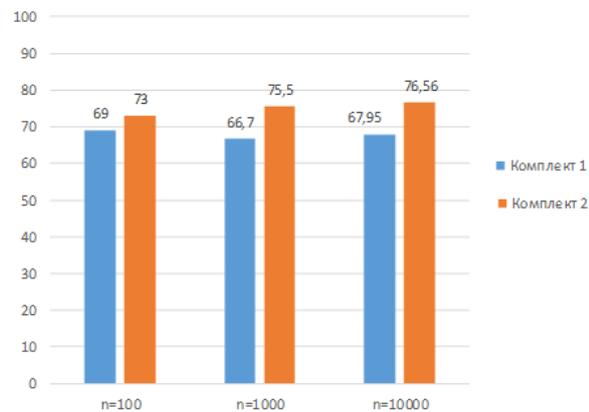


Рис. 1 – Полнота покрытия неисправностей ОЗУ

На приведенном рисунке показаны экспериментальные данные о полноте покрытия  $FC_{Test}(Fault, 4)$  для случая неисправностей взаимного влияния ОЗУ. Как видно и приведенных значений, в случае управляемых вероятностных тестов полнота покрытия заметно выше полноты покрытия таких же неисправностей вероятностным тестом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере показана эффективность управляемых вероятностных тестов с заданным расстоянием Хэмминга по сравнению с вероятностным тестом. Наиболее заслуживающим внимания представляется применение данных управляемых вероятностных тестов для тестирования программного обеспечения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярмолик В. Н. Контроль и диагностика вычислительных систем / В. Н. Ярмолик. // Минск : Бест-принт, –2019.
2. Huang, R. A Survey on Adaptive Random Testing / R. Huang, W. Sun, Y. Xu, H. Chen, D. Towey, X. Xia. // IEEE Transactions on Software Engineering –IEEE Press, 2021. –vol. 47, no. 10. – P. 2052–2083.
3. Ярмолик С. В. Управляемое случайное тестирование / С. В. Ярмолик, В. Н. Ярмолик // Информатика. –Минск, 2011. – № 1 (29). – С. 79–88.

# FGPA РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРЯМОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ЧИСЕЛ

Кривальцевич Е. А., Вашкевич М. И.  
Кафедра электронных вычислительных средств,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: krivalcevi4.egor@gmail.com

*Представлена реализация нейронной сети для распознавания рукописных цифр на базе платформы Zynq-7000. Выполнен анализ влияния точности представления параметров НС на её производительность, а также на требуемые для реализации аппаратные ресурсы ПЛИС.*

## ВВЕДЕНИЕ

Нейронные сети (НС) играют ключевую роль в развитии информационных технологий, основанных на машинном обучении. Вычислительной платформой для обучения и эксплуатации нейросетевых моделей чаще всего выступают графические процессоры (GPU), которые содержат множество вычислительных ядер, способных обрабатывать потоки данных параллельно. К недостаткам GPU можно отнести их высокую потребляемую мощность, а также универсальность их архитектуры.

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) типа FPGA (Field Programmable Gate Array) представляют собой реконфигурируемые вычислительные платформы, позволяющие реализовывать параллельно-поточные архитектуры НС [1-3] с более высокой производительностью и меньшим потреблением энергии по сравнению с реализациями на базе процессоров общего назначения (CPU) и графических процессоров.

При реализации НС на базе CPU и GPU как правило используются стандартизированные типы данных (чаще всего числа с плавающей запятой одинарной точности, реже – целочисленные типы). При реализации на базе FPGA появляется возможность использовать для представления параметров НС типов данных, обеспечивающих различную точность. Причем выбор точности представления напрямую будет влиять на аппаратные затраты. В настоящей работе на примере однослойной НС для распознавания рукописных цифр исследуется влияние разрядности коэффициентов НС на точность распознавания, а также на аппаратные затраты FPGA, необходимые для реализации НС.

## I. РАЗРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В работе рассматривается задача распознавания рукописных цифр по изображениям из набора данных MNIST. Для проведения эксперимента была выбрана однослойная НС прямого

распространения, состоящая из полносвязного слоя с выходной функцией активации softmax.

Используемый набор данных MNIST содержит 70 тыс. полутоновых изображений размера 28x28 пикселей рукописных цифр от 0 до 9. Набор разбит на две части: тренировочная выборка – 60 тыс. изображений, а тестовая выборка – 10 тыс. Обучение НС выполнялось с использованием языка Python и библиотеки PyTorch. В процессе обучения НС использовался метод стохастического градиентного спуска со скоростью обучения  $\eta = 0,003$  и моментумом  $\gamma = 0,9$ . Обучение выполнялось на 10 тыс. эпох, что позволило модели достичь высокой точности на тренировочном наборе данных. В результате обучения была получена матрица весовых коэффициентов размером  $10 \times 784$ .

## II. РЕАЛИЗАЦИЯ НС НА FGPA

Для реализации НС была выбрана отладочная плата Zybo на базе ПЛИС Zynq-7000. Zynq – это система на кристалле (SoC), которая объединяет процессор ARM и программируемую логику FPGA. Для упрощения разработки и тестирования на этой платформе используется дистрибутив Linux PYNQ (Python productivity for zynq). PYNQ позволяет с использованием языка Python взаимодействовать с аппаратными блоками FPGA, реализованными в виде IP-ядер, что делает процесс тестирования и разработки более гибким и удобным.

Структура разработанной системы для распознавания рукописных цифр на базе платформы Zynq представлена на рисунке 3. Для подачи изображения в НС оно предварительно считывается, затем оно преобразуется в необходимый формат и передаётся в IP-блок по интерфейсу AXI-Lite.

IP-блок, реализующий НС, описан на языке SystemVerilog. Полносвязный слой реализуется на базе десяти MAC-ядер. Каждое ядро производит 784 операции умножения значения пикселя на соответствующий весовой коэффициент, хро-

нящийся в памяти устройства. В результате получается массив из десяти элементов, представляющий выходные данные слоя. Затем в блоке Max ind осуществляется выбор наибольшего элемента массива и вывод его индекса. Найденное значение передаётся обратно в процессорную систему по интерфейсу AXI-Lite.

### III. ТЕСТИРОВАНИЕ НС

На этапе тестирования исследовалось влияние разрядности весовых коэффициентов на точность распознавания цифр, а также на аппаратные затраты FPGA. Разрядность коэффициентов НС изменялась от 2 до 16 бит. Для каждой разрядности производилась подача на НС всех 10 тыс. тестовых изображений базы MNIST. Для анализа полученных результатов выполнялось построение матрицы спутывания. На рисунке 1 представлен пример матрицы спутывания.

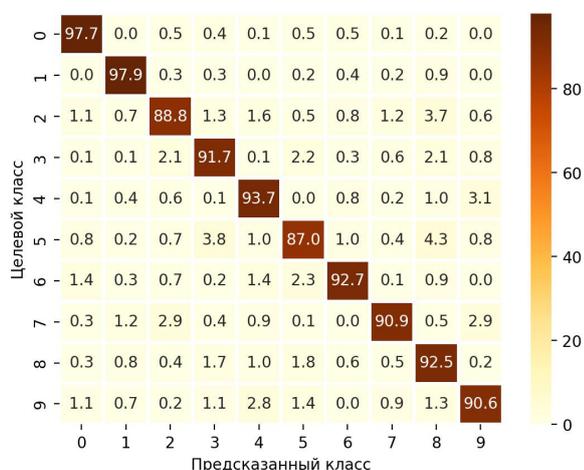


Рис. 1 – Матрица спутывания для 5-разрядного представления весов НС

Анализ аппаратных затрат при различной разрядности весовых коэффициентов НС показал, что при уменьшении разрядности уменьшается число требуемых для реализации НС блоков LUT и FF (триггеров). Полученные результаты экспериментов представлены на рисунке 2, где на одном графике совмещены точность распознавания и количество использованных элементов LUT

и FF в зависимости от разрядности коэффициентов НС.

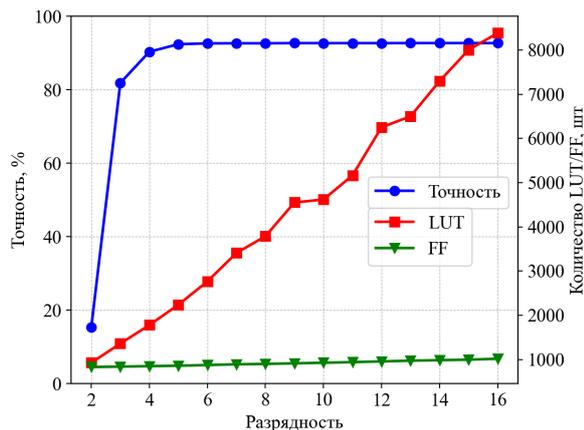


Рис. 2 – Точность и аппаратные затраты на реализацию НС

В соответствии с полученными результатами можно сделать вывод, что наиболее оптимальной разрядностью будет 5 бит, которая позволяет с высокой вероятностью правильно распознать цифры на изображении и не использовать избыточные аппаратные ресурсы FPGA.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен вариант реализации устройства распознавания рукописных цифр на базе платформы Zybo. Исследовано влияние разрядности весовых коэффициентов НС на точность распознавания и аппаратные затраты FPGA.

- Mittal S. A survey of FPGA-based accelerators for convolutional neural networks // Neural computing and applications. – 2020. – V. 32. – №. 4. – С. 1109-1139.
- Ahmad A., Pasha M. A. FFCnv: an FPGA-based accelerator for fast convolution layers in convolutional neural networks // ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS). – 2020. – V. 19. – №. 2. – С. 1-24.
- Giardino D. et al. FPGA implementation of handwritten number recognition based on CNN // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. – 2019. – V. 9. – №. 1. – С. 167-171.

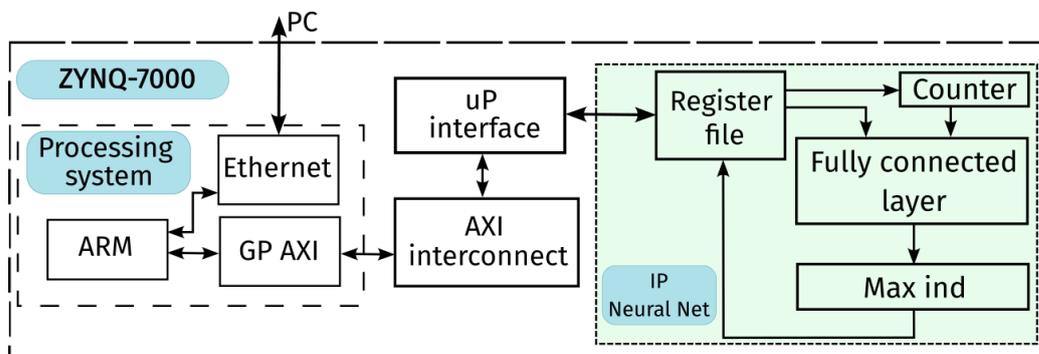


Рис. 3 – Структурная схема НС для распознавания рукописных цифр на базе платформы Zybo

# АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ТЕСТОВ С ЗАДАННЫМ РАССТОЯНИЕМ ХЭММИНГА

Леванцевич В. А., Деменковец Д. В.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: lvn@blsuir.by, Demenkovets@bsuir.by

Рассматриваются управляемые вероятностные тесты, методы их формирования, а также их применение для тестирования вычислительных систем. Анализируются численные метрики для построения управляемых вероятностных тестов. Показываются основные проблемы, возникающие при формировании таких тестов. Рассматривается алгоритм формирования управляемых вероятностных тестов, основанный на определении расстояния Хэмминга для тестовых наборов, состоящих из символов различных алфавитов.

## ВВЕДЕНИЕ

Вероятностное тестирование (*Random Testing*) и его многочисленные модификации, основанные на принципе *черного ящика* (*Black Box*), являются эффективным средством для тестирования вычислительных систем.

Для повышения эффективности вероятностных тестов используют их модификации, которые получили общее название управляемые вероятностные тесты (*Controlled Random Tests*). Общим для управляемых вероятностных тестов является то, что каждый последующий тестовый набор формируется с учетом ранее сгенерированных наборов на основе вычисления некоторых характеристик, по которым он включается или не включается в вероятностный тест. Основной проблемой данных тестов является высокая вычислительная сложность определения очередного кандидата в тестовый набор. [1].

### 1. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

В качестве меры отличия тестовых наборов  $T_i = t_{i,0} t_{i,1} t_{i,2} \dots t_{i,n-1}$  и  $T_j = t_{j,0} t_{j,1} t_{j,2} \dots t_{j,n-1}$ , где  $t_{i,l}, t_{j,l} \in \{0, 1\}$ ,  $l \in \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$ , чаще всего используются кодовое расстояние Хэмминга. Однако, расстояние Хэмминга как мера различия не всегда эффективна (см таблицу 1). Для более полной оценки различия двоичных наборов в [2-3] была определена новая мера различия  $MD(T_i, T_j)$  между тестовыми наборами  $T_i$  и  $T_j$  для случая, когда  $n = 2^m$ , где  $m$  – целое. Данная мера различия состоит из множества численных характеристик  $HD_0, HD_1, \dots, HD_v, \dots, HD_m$ , представляющих собой расстояния Хэмминга  $HD_v[T_i(2^v), T_j(2^v)]$  для указанных наборов  $T_i(2^v)$  и  $T_j(2^v)$ , состоящих из символов различных алфавитов, заданных их  $2^v$  последовательными битами, где  $v \in \{0, 1, 2, \dots, m\}$ .

В табл. 1 приведены примеры вычисления  $MD(T_i, T_j)$  для различных пар тестовых наборов  $T_i$  и  $T_j$  разрядностью  $n = 5$ .

Таблица 1 – Примеры вычисления расстояния Хэмминга  $HD(T_i, T_j)$

$T_i$	$T_i(1) = 01010$	$T_i(2) = 010100$
$T_j$	$T_j(1) = 10000$	$T_j(2) = 100000$
$HD(T_i, T_j)$	3	2
$T_i$	$T_i(3) = 010100$	$T_i(4) = 01010000$
$T_j$	$T_j(3) = 100000$	$T_j(4) = 10000000$
$HD(T_i, T_j)$	2	1
$T_i$	$T_i(5) = 01010$	
$T_j$	$T_j(5) = 10000$	
$HD(T_i, T_j)$	1	
$T_i$	$T_i(1) = 01010$	$T_i(2) = 010100$
$T_j$	$T_j(1) = 10011$	$T_j(2) = 100110$
$HD(T_i, T_j)$	3	2
$T_i$	$T_i(3) = 010100$	$T_i(4) = 01010000$
$T_j$	$T_j(3) = 100110$	$T_j(4) = 10010000$
$HD(T_i, T_j)$	2	1
$T_i$	$T_i(5) = 01010$	
$T_j$	$T_j(5) = 10011$	
$HD(T_i, T_j)$	1	

Как видно из таблицы мера различия  $MD(T_i, T_j)$  принимает следующие значения:  $MD(01010, 10000) = HD_1 = 3$ ,  $HD_2 = 2$ ,  $HD_3 = 2$ ,  $HD_4 = 1$ ,  $HD_5 = 1$ ;  $MD(01010, 10011) = 3, 2, 2, 2, 1$ .

Использование меры различия  $MD(T_i, T_j)$  позволяет сформировать управляемый вероятностный тест, состоящий из  $q = 2^r$  двоичных наборов разрядностью  $n$ , где  $r \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$  есть количество бит используемых для двоичного представления символа определенного алфавита. Тестовые наборы такого теста будут иметь кодовое расстояние, равное  $h = \min HD(T_i, T_j) = n/r$ .

Ограниченное количество  $q = 2^r$  тестовых наборов определяется ограниченным количеством  $2^r$  символов алфавита, в котором представлены тестовые наборы  $T_i(r) = t_{i,0}(r) t_{i,1}(r) t_{i,2}(r) \dots t_{i,n/r-1}(r)$  и  $T_j(r) = t_{j,0}(r) t_{j,1}(r) t_{j,2}(r) \dots t_{j,n/r-1}(r)$ . Только в этом случае символы одних и тех же цифр (разрядов) во всех  $q$  тестовых наборах могут принимать разные значения без повторов.

## II. РЕАЛИЗАЦИЯ

Для построения управляемого вероятностного теста часто используются исходные шаблоны. Под тестовыми шаблонами подразумевается управляемый вероятностный тест  $CRT(q, h, n)$  с фиксированным количеством тестовых наборов  $q$ , заданным минимальным значением расстояния Хэмминга  $h = \min HD(T_i, T_j)$ , построенными для минимальной разрядности  $n$  тестовых наборов.

Используя подобные шаблоны с заданными характеристиками  $q$  и  $h$ , строится управляемый вероятностный тест для требуемой разрядности  $n$  тестовых наборов, в котором сохраняется относительное  $h/n$  значение расстояния Хэмминга.

Процедура построения управляемых вероятностных тестов с фиксированным расстоянием Хэмминга, исходными данными для которой являются разрядность  $n$  двоичных тестовых наборов и требуемое значение  $\min HD(T_i, T_j)$ , включает следующие шаги.

1. Определяется максимальное значение  $r \in \{0, 1, 2, 3, \dots, n\}$ , для которого выполняется неравенство  $\min HD(T_i, T_j) \leq \lfloor n/r \rfloor$ . Это значение, согласно утверждению 2, определяет число  $q$  тестовых наборов в тесте, равное  $2^r$ , и расстояние Хэмминга  $\min HD(T_i, T_j) \geq \lfloor n/r \rfloor$  для всех  $i \neq j \in \{0, 1, 3, \dots, 2^r - 1\}$ .

2. Значения первых  $r$  бит  $2^r$  тестовых наборов  $T_0, T_1, T_2, \dots, T_{q-1}$  устанавливаются равными двоичному коду одного из символов алфавита, содержащего  $2^r$  символов. Двоичные коды символов формируются случайным образом без повторений, начиная с первого набора  $T_0$  до последнего  $T_{q-1}$ . Для этих целей можно использовать шаблоны из семейства шаблонов  $CRT(2^r, 1, r)$ . Таким образом, каждый тестовый набор будет содержать в первых  $r$  разрядах уникальную двоичную комбинацию, соответствующую одному из  $2^r$  символов.

3. Шаг 2 повторяется  $\lfloor n/r \rfloor - 1$  раз для всех последующих  $r$  разрядных блоков двоичных тестовых наборов. То есть на второй итерации задаются уникальные  $r$ -битовые коды следующих  $r$  разрядов, а именно  $r, r+1, \dots, 2r-1$  бит тестовых наборов.

4. Значения оставшихся  $n - \lfloor n/r \rfloor \times r$  разрядов, если таковые имеются, всех тестовых наборов формируются случайным образом. Приведем пример применения рассмотренной процедуры для синтеза управляемого вероятностного теста для  $n = 16$  и  $\min HD(T_i, T_j) = 5$ .

На основании неравенства  $\min HD(T_i, T_j) = 5 \leq \lfloor n/r \rfloor = \lfloor 16/r \rfloor$  получаем значение  $r = 3$ , так как оно является максимальным значением  $r$  из множества его значений  $\{1, 2, 3, \dots, 16\}$ , при котором выполняется данное неравенство. Соответственно, формируемый тест будет состоять из  $2^r = 2^3 = 8$  наборов.

1. Значения первых 3-х разрядов  $t_{i,0}, t_{i,1}$  и  $t_{i,2}$  тестовых наборов  $T_0, T_1, T_2, \dots, T_7$  устанавливаются

равными одному из двоичных кодов 000, 001, 010,  $\dots$ , 111 символов 0, 1, 2,  $\dots$ , 7 восьмеричного алфавита. Для этого можно использовать один из шаблонов  $CRT(2^3, 1, 3)$ , например, 010, 101, 011, 000, 111, 001, 110 и 100. Таким образом, каждый тестовый набор будет содержать в первых 3-х разрядах уникальную двоичную комбинацию (см. табл. 2).

2. Шаг 2 повторяется  $\lfloor 16/3 \rfloor - 1 = 4$  раза. Для каждого блока, состоящего из трех бит, значения символов восьмеричного алфавита назначаются случайным образом без повторений.

3. Значения оставшегося  $16 - \lfloor 16/3 \rfloor \times 3 = 1$  бита  $t_{i,15}$  всех тестовых наборов формируются случайным образом.

В результате применения рассмотренной процедуры получен тест, представленный в табл. 2, для которого выполняется следующее условие:  $HD(T_i, T_j) \geq \min HD(T_i, T_j) = 5$ . Как видно из табл. 2, все значения  $HD(T_i, T_j)$  больше или равны 5.

Таблица 2 – Управляемый вероятностный тест с  $\min HD(T_i, T_j) = 5$  и  $n = 16$

$T$	$t_{i,0}$	$t_{i,1}$	$t_{i,2}$	$t_{i,3}$	$t_{i,4}$	$t_{i,5}$	$t_{i,6}$	$t_{i,7}$
$T_0$	0	1	0	0	0	0	0	1
$T_1$	1	0	1	1	1	0	0	1
$T_2$	0	1	1	1	0	0	1	0
$T_3$	0	0	0	1	1	1	0	0
$T_4$	1	1	1	0	0	1	1	1
$T_5$	0	0	1	0	1	0	0	0
$T_6$	1	1	0	1	0	1	1	0
$T_7$	1	0	0	0	1	1	1	1
$T$	$t_{i,8}$	$t_{i,9}$	$t_{i,10}$	$t_{i,11}$	$t_{i,12}$	$t_{i,13}$	$t_{i,14}$	$t_{i,15}$
$T_0$	1	1	1	1	0	1	0	0
$T_1$	0	0	1	1	1	1	1	1
$T_2$	1	1	0	0	1	0	0	1
$T_3$	0	0	1	0	0	0	1	1
$T_4$	0	1	0	1	1	1	0	0
$T_5$	1	0	0	1	1	0	1	1
$T_6$	0	0	0	0	0	1	1	0
$T_7$	1	1	1	0	0	0	0	0

## III. ВЫВОДЫ

Предложенный алгоритм позволяет формировать управляемые вероятностные тесты без необходимости перечисления кандидатов в тестовые наборы, что сводит задачу синтеза управляемого вероятностного теста к формальной процедуре, предложенной в настоящей работе.

1. Ярмолик, В. Н. Контроль и диагностика вычислительных систем / В. Н. Ярмолик. – Минск : Вестпринт, – 2019. – 387 с.
2. Ярмолик, В. Н. Мера различия для управляемых вероятностных тестов / В. Н. Ярмолик, В. В. Петровская, Н. А. Шевченко // Доклады БГУИР. – 2024. – № 4(22). – С. 76–83.
3. Ярмолик, В. Н. Модификации способов определения расстояния Хэмминга для их применения в качестве мер различия при генерировании управляемых вероятностных тестов / В. Н. Ярмолик, В. В. Петровская, Н. А. Шевченко // Информатика. – 2024. – Т. 21, № 2. – С. 54–72.

# ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТРАССЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ В СИСТЕМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Логинова И. П.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: irilog@mail.ru

*Разработан подход для визуализации и оценки результатов, полученных при проведении параллельных вычислений с использованием программ логической оптимизации для объектов, описания которых представлены в виде сетей независимых компонентов. Визуализация проводится на основе анализа пространственно-временных структур трассировочных метрик, полученных при выполнении параллельной программы.*

## ВВЕДЕНИЕ

В основе использования разработанного средства визуализации лежит выполнение параллельных процессов, в каждом из которых образован единственный поток [1]. В каждом процессе производится запуск команды, аргументы которой определяют имя программы и исходный объект. Если входные аргументы операции, выполняемой в данном потоке, не зависят от результатов операций, выполняемых с объектами в других потоках, то исходные объекты являются независимыми. Организовать совокупности независимых объектов для проведения параллельных вычислений с использованием программ оптимизации позволяет среда логического проектирования, в которой можно проводить ряд проектных операций для преобразования исходного объекта в одноранговую сеть независимых элементов. Таким образом, параллельные вычисления реализуются посредством запуска параллельных процессов, в каждом из которых выполняется программа для одного элемента сети.

В работе [1] представлены результаты экспериментов, которые свидетельствуют о эффективности параллельного запуска программ оптимизации на многоядерном процессоре. При проведении параллельного вычислений следует провести анализ распределения нагрузки по ядрам процессора, оценить время выполнения программы в каждом потоке. Все это важно, как для оценки эффективности такого подхода к оптимизации, так и для оценки быстродействия выполнения параллельной программы, в целом. С этой целью разработано программное средство, анализирующее трассу выполнения параллельной программы. Согласно данным этой трассы строится графическое отображение, которое дает наглядное представление о загрузке ядер процессора, о времени выполнения оптимизации для объектов с разными входными параметрами.

## I. ОРГАНИЗАЦИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Средства визуализации используемые в параллельных вычислениях принято классифици-

ровать по таким категориям: системы визуального программирования (Visual Programming) и системы визуализации программирования (Visualization of Computing), средства визуального представления вводимой/выводимой информации. Если средства, относящиеся к первым двум категориям, призваны повлиять на процесс разработки параллельных программ, то использование визуальных средств, относящихся к последней категории, имеет практическое назначение, облегчает восприятие результатов работы параллельной программы и, как правило, предназначены для последующего анализа данных. Визуализация предстает наиболее естественным способом отображения пространственной модели параллельных вычислений: изменения происходят не только во времени, но и физически распределены в пространстве (различные процессы, выполняются на разных элементах вычислительной системы одновременно). Поэтому для визуализации при параллельных вычислениях используются двумерные, трехмерные модели.

## II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАБОРА ХАРАКТЕРИСТИК, СОСТАВЛЯЮЩИХ ТРАССУ

Средства визуализации могут использовать самые различные методики сбора данных и связанный с ним способ организации работы визуального средства. Существует два различных подхода: первый и более простой в реализации off-line анализ, а также более прогрессивный и информативный on-line анализ. Off-line анализ подразумевает обработку данных после выполнения параллельной программы. Эта обработка основывается на том, что в процессе выполнения программы создается так называемая трасса - журнал, содержащий информацию о ходе выполнения программы. Сбор информации происходит в конкретных участках программы, которые определяются, как правило, при разработке параллельной программы. Обычно эти записи включают в себя временные отметки событий, происходящих в отдельных процессах, взаимодействие процессов между собой и другую информацию. После завершения программы файл трассы сохраняется. Современ-

ные средства визуализации на основе файла трасс позволяют строить различные схемы, иллюстрирующие состояние программы в каждый момент времени или, например, диаграммы, отображающие статистику работы параллельной программы. Проблемой сбора данных для визуализации является тот факт, что такие средства не могут не влиять на саму программу. В процессе off-line трассировки также происходит вмешательство в ход выполнения программы, но это воздействие неизмеримо меньше, чем возможное влияние on-line средств.

Для организации визуализации параллельных вычислений, в которых отсутствует взаимодействие между параллельными процессами, реализованы следующие этапы:

- трассировка параллельной программы с реализацией минимального воздействия на ход выполнения программы;
- анализ информации трассы;
- масштабируемая визуализация трассы.

Первый этап выполняется в программе, запускающей параллельные процессы. Трасса для одного процесса содержит значения, полученные в разных состояниях этого процесса:

- порядковый номер элемента сети;
- идентификатор параллельного процесса;
- время начала выполнения программы;
- время завершения программы в процессе;
- длительность выполнения программы.

Перед завершением работы параллельной программы все трассы процессов собирают вместе в один файл. Далее проводится анализ данных трассы осуществляемый уже в программе визуализации, где решаются следующие задачи:

1. Подготовка трассы для отображения в графическом визуализаторе;
2. реализация графического визуализатора на основе библиотеки QtCharts.

Основу программы визуализатора составляет подготовка трассы, заключающейся в организации многоуровневой сортировки хэш-таблицы, построенной по трассировочной информации. В качестве средства визуализации данных трассы, подготовленных на предыдущем этапе, используется модуль графической библиотеки QtCharts, который интегрирован в библиотеки Qt (начиная с версии Qt5.7). Библиотека является кроссплатформенной, достаточно легковесной, поддерживает широкий спектр разнообразных типов визуализаций (графиков, гистограмм, диаграмм и др.), обеспечивает высокую производительность. QtCharts предоставляет набор типов диаграмм, которые можно легко интегрировать в современные пользовательские интерфейсы. Для графического отображения выбран тип диаграммы в виде горизонтальной диаграммы с накоплением (HorizontalStackedBarChart). Этот тип диаграммы представляет данные трассы в виде горизонтально сложенных столбцов, сгруппированных по сле-

дующим категориям: по вертикали представлено распределение процессов по ядрам процессора; по горизонтали представлена шкала времени выполнения параллельной программы. В каждом горизонтальном столбце последовательное сложение блоков разной длины определяет порядок выполнения процессов, а размер блоков определяется длительностью работы программы в процессе, которая определяется порядком временных событий в каждом процессе. Примеры горизонтальной столбцовой диаграммы с накоплением представлены на рис. 1 и 2.



Рис. 1 – 16 ядер; 1 проект; 15 независимых элементов; программа ABC

На рис.1 представлена диаграмма, где отображено выполнение в параллельном режиме оптимизации (программа оптимизации ABC) для объекта проектирования, представленного в виде двухуровневой сети из 15-ти элементов. Эффективность использования параллельных вычислений, загруженность ядер и другие оценки определяются даже с первого взгляда. Следует отметить, что в параллельных процессах могут выполняться несколько программ оптимизации, выполняемых для нескольких исходных объектов. На рис. 2 представлена диаграмма, где отображено результаты выполнения в параллельном режиме оптимизации (программа ABC) для 30-ти элементов, представленных двухуровневыми описаниями двух проектов.

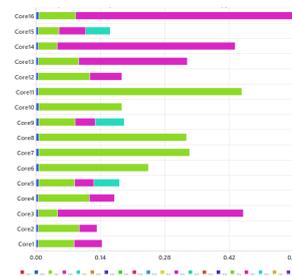


Рис. 2 – 16 ядер; 2 проекта; 30 независимых элементов; программа ABC

1. Логинова, И. П. Анализ быстродействия при реализации параллельных вычислений для решения задач оптимизации в системе логического проектирования /И. П. Логинова // BIG DATA и анализ высокого уровня: сб.науч. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1. (Республика Беларусь, Минск, 17–18 мая 2023 года). – Минск: БГУИР, 2023. – С. 365-378.

# АЛГОРИТМЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ

Малявко Н. В., Иванюк А. А.

Факультет компьютерных систем и сетей, кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: mikita.maliauka@gmail.com, ivaniuk@bsuir.by

*В работе построена программная модель для параметрического моделирования физически неклоняруемой функций типа кольцевой осциллятор. Проведено программное моделирование и рассчитана метрика единообразия.*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальным является использование физической криптографии, основанной на невоспроизводимости некоторых параметров и характеристик физических систем. В области физической криптографии распространено использование физически неклоняруемых функций (ФНФ)[1-3].

ФНФ является структурой, позволяющей отображать множество запросов  $CH$  во множество ответов  $R$  уникальным и невоспроизводимым образом  $CH \rightarrow R$ . В цифровых устройствах преобладает использование ФНФ, базирующихся на уникальности и невоспроизводимости задержек распространения сигналов через их пути. Одним из таких типов ФНФ является ФНФ типа кольцевой осциллятор (КО).

Эта ФНФ выдаёт однобитный ответ путём сравнения частот двух КО.

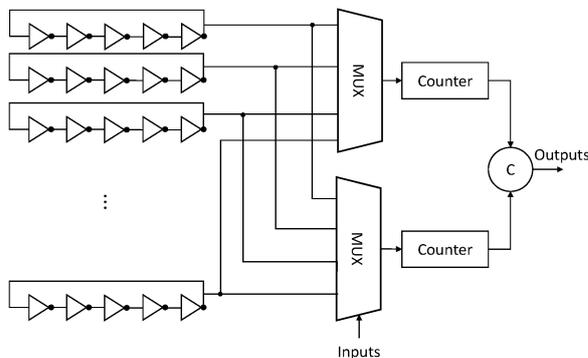


Рис. 1 – ФНФ типа кольцевой осциллятор

КО – цифровой генератор, состоящий из нечётного числа инверторов соединённых последовательно и замкнутых петлёй обратной связи, который колеблется на определённой частоте. Частота колебаний КО определяется особенностью реализации (количество инверторов или других элементов задержки, маршрутов на кристалле), случайными технологическими отклонениями и условиями эксплуатации, которые оказывают уникальное влияние на каждое устройство.

Традиционная схема ФНФ типа КО представлена на рисунке 1. Она измеряет частоты пары КО  $(f_i, f_j)$  с помощью двух счётчиков и сравнивает эти две частоты, чтобы сформировать бит ответа  $r_{ij}$  на основе следующего правила:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если } f_i > f_j \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}.$$

$N$ -битная сигнатура может быть создана путём сравнения нескольких КО. Обычно эти КО реализуются в двумерной матрице [1].

## I. ОПИСАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Значение задержки на КО будет рассчитываться по следующей формуле:

$$delay = \sum_{i=1}^n pd_i,$$

где  $pd_i$  – задержка на каждом инверторе.

В программной модели было сделано допущение, что задержка КО генерируется как нормально распределённое случайное число в определённом диапазоне значений.

Из-за особенностей технологии производства невозможно гарантировать, что задержка на элементе будет иметь точное значение. Оно будет отличаться на случайную величину, назовём её дивиацией, от среднего значения задержки для конкретного технологического процесса[4]. Тогда суммарная задержка на КО будет рассчитываться как:

$$delay = \sum_{i=1}^n pd_i \times (1 + diviation_i),$$

где  $pd_i$  – задержка на каждом инверторе и  $diviation_i$  – процент отклонения от среднего значения.

В аппаратуре выбор случайных пар КО реализуется через мультиплексоры и другой КО, который непосредственно выбирает пару. В программной модели ФНФ выбиралась пара КО при помощи стандартной функции генерации случайных чисел.

## II. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Двоичная ФНФ является единообразной, если в  $n$ -битовом ответе содержится равное количество нулей и единиц [3]. Единообразию можно рассчитать следующим образом:

$$uniformity = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n r_l,$$

где  $r_l$  представляет собой  $l$ -бит  $n$ -битного отклика. После вычисления метрики единообразия со случайными и одинаковыми задержками на 10000 прогонах, центр распределения оказался в:  $uniformity_{diff} = 0.499542$  (рисунок 2) и  $uniformity_{same} = 0.499569$  (рисунок 3). Эти значения единообразия отличаются на  $\approx 0.06\%$  от значения полученным авторами в работе [3].

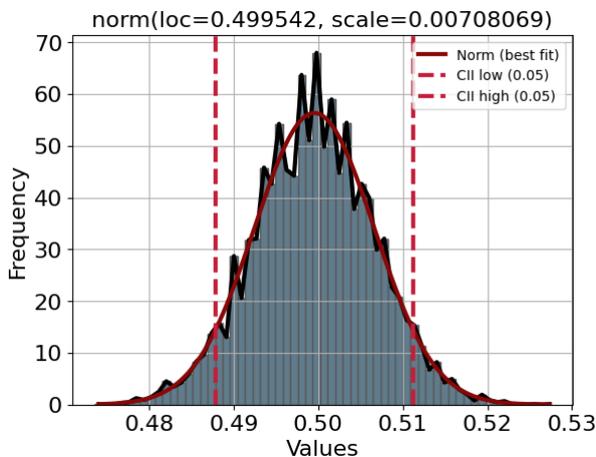


Рис. 2 – Распределение единообразия для 10000 прогонов модели со случайными задержками

Из полученных данных мы можем сделать вывод, что на метрику единообразия не влияет количество инверторов в КО. И что важно наличие девиации в модели. Это знание может быть использовано для экономии аппаратных ресурсов: энергопотребления и места на кристалле.

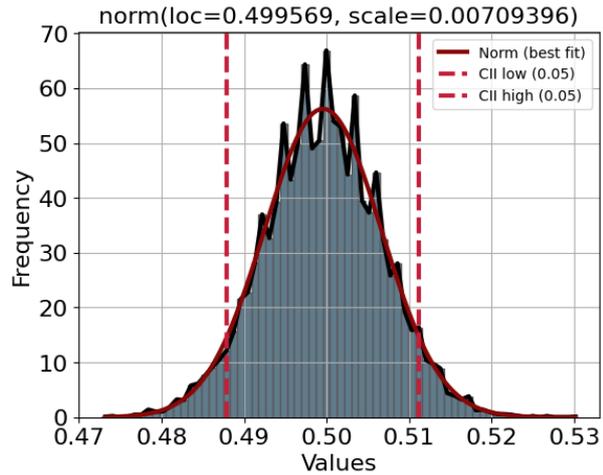


Рис. 3 – Распределение единообразия для 10000 прогонов модели с одинаковыми задержками и девиацией

## III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом работы является программная модель, которая описывает ФНФ типа КО и совпадает по рассматриваемым метрикам с метриками, полученными на основе собранных с реальной аппаратуры данных[3]. А так же учитывает следующий набор параметров:

- количество КО;
- флаг генерации одинаковых задержек;
- размерность битового вектора ответов;
- диапазон значений задержки распространения сигнала;
- диапазон значений девиации.

Модель может быть расширена путём добавления новых параметров для анализа свойств ФНФ типа КО.

## IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. Lim, Extracting Secret Keys from Integrated Circuits, Master's Thesis, MIT, 2004.
2. Martin H, Peris-Lopez P, Natale GD, Taouil M, Hamdioui S. Enhancing PUF Based Challenge-Response Sets by Exploiting Various Background Noise Configurations. Electronics. 2019; 8(2):145. <https://doi.org/10.3390/electronics8020145>
3. G. Edward Suh, Srinivas Devadas. 2007. Physical unclonable functions for device authentication and secret key generation. In Proceedings of the 44th annual Design Automation Conference (DAC '07). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 9–14. <https://doi.org/10.1145/1278480.1278484>
4. Шамына, А. Ю. Исследование временных параметров физически неклонировуемой функции типа арбитр с использованием кольцевого осциллятора=Investigation of the Timing Parameters of The Arbiter-Based Physically Unclonable Function Using a Ring Oscillator / Шамына А. Ю., Иванюк А. А. // Цифровая трансформация. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 27–38. DOI: <http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-27-38>.

# АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СХЕМЫ ПОСТОБРАБОТКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВЕ МНОГОКАНАЛЬНОГО СИГНАТУРНОГО АНАЛИЗАТОРА

Петровский Д. А., Иванюк А. А.

Кафедра электронных вычислительных средств, кафедра информатики,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: petrovsky.dmitr@gmail.com, ivaniuk@bsuir.by

В данной работе рассматривается схема постобработки случайных чисел. Основное внимание уделяется анализу характеристик многоканального сигнатурного анализатора (МСА) при различных конфигурациях. Проведено тестирование с использованием стандарта NIST SP 800-22.

## ВВЕДЕНИЕ

Случайные числа имеют широкую сферу применения. Они используются в криптографии, статистике, игровой индустрии, моделировании и т.д. Они делятся на два класса: псевдослучайные числа (ПСЧ) и истинно случайные числа (ИСЧ). ПСЧ генерируются в результате математических вычислений по заданному алгоритму. Генерирование ИСЧ основано на измерении характеристик неуправляемых физических процессов, происходящих внутри источников энтропии (ИЭ).

Для каждой области существует множество стандартов, описывающих необходимые характеристики случайных чисел и тесты для их источников. В качестве примера можно привести стандарты SP 800-90A-D и ряд из 15 тестов Национального института стандартов и технологий США (англ. National Institute of Standards and Technology (NIST), USA) [1].

## I. СХЕМЫ ПОСТОБРАБОТКИ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

Структура генератора истинно случайных чисел (ГИСЧ) (рис. 1) подразумевает наличие схемы постобработки, которая улучшает статистические свойства выходной последовательности от ИЭ, для соответствия требованиям, предъявляемым к ГИСЧ.

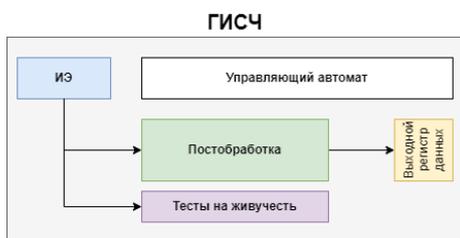


Рис. 1 – Структура ГИСЧ

Схемы постобработки, предлагаемые NIST, основаны на криптографических хеш-функциях или алгоритмах шифрования [1]. Они обеспечивают высокие статистические показатели выходной

последовательности, но их схемотехническая реализация требует больших аппаратных затрат. Актуальной задачей является разработка и исследование алгоритма постобработки, имеющего меньшие аппаратные затраты, но сравнимые статистические показатели.

В работе [2] рассматривается схемотехническая реализация схемы постобработки случайных чисел на базе многоканального сигнатурного анализатора (МСА). Характеристики схемы зависят от следующих параметров: количества входных каналов  $G$ , количества выходных каналов (разрядности)  $N$ , коэффициента сжатия во времени  $J$  и порождающего полинома. Поведение схемы можно описать с помощью уравнения:

$$d_i(k+J) = \sum_{g=0}^{G-1} B_i(r-g)y_g(k) + \sum_{n=0}^{N-1} c_n(r-i)d_n(k). \quad (1)$$

где  $d_i(k) \in \{0,1\}$  – содержимое  $i$ -го элемента памяти (разряда) МСА в  $k$ -й такт работы,  $y_g(k) \in \{0,1\}$  – двоичное значение  $g$ -го канала в  $k$ -й такт работы,  $c_n(r-i) \in \{0,1\}$  – коэффициент, определяющий участие  $d_n$  в цепи обратной связи для  $d_i$ , рассчитывается на основе порождающего полинома и коэффициента  $J$ ,  $B_i(r-g) \in \{0,1\}$  – коэффициент, определяющий участие  $y_g$  в формировании  $d_i$ , рассчитывается на основе порождающего полинома и коэффициента  $J$ ,  $r$  – вспомогательный коэффициент,  $r = J \cdot G$ .

## II. АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК

Для анализа характеристик МСА применяется набор тестов, предлагаемый NIST в SP 800-22 [3]. Анализируемые конфигурации МСА имеют разрядность  $N = \{2^5, 2^4, 2^3\}$ , так как схемы разрядностей степени 2 широко применяются в вычислительной технике и могут быть легко в неё интегрированы. Схемы с разрядностью  $N = \{2^5, 2^4\}$  имеют количество входных каналов  $G = 4$ , для  $N = 2^3$  количество входных кана-

лов  $G = 2$ . Согласно рекомендациям NIST  $G$  и  $N$  должны удовлетворять следующему условию,  $N \bmod (G) = 0$ . В качестве исходной последовательности используется набор данных, сгенерированных со схемотехнической реализации физически неклонированной функции (ФНФ) [4]. Основываясь на данных из работы [2], коэффициент  $J$  будет изменяться в диапазоне  $(N, 2^N - 1)$  для всех схем случайным образом.

NIST тестирование проводилось на последовательностях длиной  $10^6$  бит. В таблице 1 представлены результаты одного из тестирований для каждой конфигурации, отражающие общую картину.

Для конфигураций использовались примитивные и неприводимые порождающие полиномы, изменение которых на всех конфигурациях не оказало значительного влияния на прохождения тестирования. Если полином не является примитивным и неприводимым, наблюдается значительное снижение характеристик схемы.

Изменение разрядности МСА влияло на прохождение тестирования. Конфигурации с разрядностью 32-бита показали высокие статистические показатели в NIST тестировании. Конфигурации с разрядностью 16-бит, при тестировании показали хорошие характеристики в 14 из 15 тестов, но тест Rank на всех запусках тестирования был не пройден. Непрохождение данного теста свидетельствует о наличии линейной зависимости в выходных последовательностях данных. Для конфигураций с разрядностью 8-бит 9 из 15 тестов не проходили, что указывает на зависимости в выходных последовательностях данных и наличие повторяющихся последовательностей.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор разрядности схемы и порождающего полинома оказывает основное влияние на статистические характеристики. Таким образом, схема постобработки случайных чисел на базе МСА показала хорошие результаты при NIST тестировании для конфигураций с разрядностью 32 бита. Схемы с разрядностью меньше 32 бит показали низкие характеристики, в результате NIST тестирование не было пройдено, но данные конфигурации могут быть использованы для дальнейшего изучения зависимостей выходных характеристик схемы от количества входных каналов и коэффициента  $J$ .

1. NIST Special Publication (SP) 800 –90B, Recommendation for the Entropy Sources Used for Random Bit Generation [Электронный ресурс] – режим доступа <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-90B>. – Дата доступа: 20.10.2024.
2. Петровский Д. А. Схема постобработки цифровой последовательности случайных чисел / Д. А. Петровский // Компьютерные системы и сети : сборник статей 60-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22 –26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 729 –730
3. NIST Special Publication (SP) 800 –22, A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-22r1a>. – Дата доступа: 20.10.2024.
4. Шамина А. Ю., Иванюк А. А. Исследование временных параметров физически неклонированной функции типа арбитр с использованием кольцевого осциллятора. Цифровая трансформация. 2022. – С.27 –38.

Таблица 1 – Результаты NIST тестов

Название теста	Разрядность МСА					
	32		16		8	
	p-value	propotion	p-value	propotion	p-value	propotion
Frequency	0.350485	10/10	0.122325	10/10	0.534146	10/10
BlockFrequency	0.122325	10/10	0.534146	9/10	0.739918	10/10
CumulativeSums(Forward)	0.534146	10/10	0.739918	10/10	0.534146	10/10
CumulativeSums(Revers)	0.350485	10/10	0.739918	10/10	0.534146	10/10
Runs	0.350485	9/10	0.035174	10/10	0.350485	10/10
LongestRun	0.534146	9/10	0.066882	10/10	0.000000*	0/10*
Rank	0.534146	10/10	0.000000*	0/10*	0.000000*	0/10*
FFT	0.350485	10/10	0.350485	10/10	0.991468	10/10
NonOverlappingTemplate	0.350485	10/10	0.739918	10/10	0.000000*	0/10*
OverlappingTemplate	0.876132	10/10	0.911413	10/10	0.000000*	0/10*
Universal	0.122325	10/10	0.739918	10/10	0.000000*	2/10*
ApproximateEntropy	0.122325	10/10	0.739918	10/10	0.000000*	0/10*
RandomExcursions	0.342678	7/7	0.271566	7/7	0.000000*	2/6 *
RandomExcursionsVariant	0.212553	7/7	0.429302	7/7	0.420789	5/6
Serial1	0.534146	10/10	0.350485	10/10	0.000000*	0/10*
Serial2	0.350485	10/10	0.213309	10/10	0.000000*	0/10*
LinearComplexity	0.213309	10/10	0.122325	10/10	0.122325	10/10

\* - результат интерпретируемый как не случайные данные

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРИОДА КОНФИГУРИРУЕМОГО КОЛЬЦЕВОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

Трубач К. И., Иванюк А. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: xenona11x@gmail.com, ivaniuk@bsuir.by

*В работе изучается метод измерения периода конфигурируемых кольцевых осцилляторов (ККО) на FPGA Xilinx Artix-7. Эксперимент показывает, что при измерениях длительностью более  $10^4$  импульсов внутреннего генератора тактовой частоты погрешность составляет менее двух пикосекунд.*

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших элементов аппаратной криптографии являются кольцевые осцилляторы (КО), используемые для идентификации цифровых устройств, генерирования криптографических ключей и последовательностей случайных чисел [1], а также для генерации последовательности прямоугольных импульсов на системах без встроенных кварцевых генераторов. Представленные в многочисленных конфигурациях, КО предоставляют различные периоды выходного сигнала, зависящие не только от схемы, но и от температуры, напряжения, давления и прочих факторов, в связи с чем возникает необходимость точно измерять их период. В данной работе рассматривается принцип проведения таких измерений с использованием временного окна, основанного на применении тактового сигнала известной частоты.

## I. КОНФИГУРИРУЕМЫЕ КОЛЬЦЕВЫЕ ОСЦИЛЛЯТОРЫ

Применяемые в криптографии, КО используются как часть физически неклонированных функций (ФНФ). При этом выделяется особая форма реализации этих устройств (ФНФ на базе КО, или КОФНФ), включающая большое количество КО для предоставления истинного случайного числа путём выбора некоторой функцией двух КО и дальнейшей обработкой их выходных сигналов. Однако такая схема обладает рядом недостатков, связанных с необходимостью реализовывать сложную функцию выбора, которая не является тривиальной. Эти проблемы решаются с помощью конфигурируемых кольцевых осцилляторов (ККО). Вместо выбора двух из множества КО, используется один ККО, предоставляющий уникальную частоту выходного сигнала каждой своей конфигурацией [2].

ККО реализуются большим количеством способов. Например, вместо нечётного количества инвертеров, классически используемых в КО, применяются двухвходовые вентили XOR, где один из входов служит для конфигурации. Вентили XOR могут заменять собой либо инвертеры, е-

ли на второй вход подаётся логическая единица, либо, при подаче логического нуля, буферы. Но требование к нечётности инвертеров, по сравнению с упомянутой ранее «классической» схемой, сохраняется и в этой, что влечёт необходимость использовать такое конфигурационное значение (challenge, или запрос), которое содержит в своём битовом представлении нечётное количество единиц. Это существенно ограничивает множество допустимых запросов.

Другой вариант схемы ККО, используемый в данной работе, предполагает использование мультиплексоров. Такая схема позволяет «выбирать» путь для сигнала кольцевого осциллятора подачей на управляющие входы мультиплексоров различных значений. Поскольку после реализации созданной схемы на FPGA возможно менять задержки только на соединительных элементах (но не на самих логических вентилях), такой подход предлагает высокую степень уникальности выходной последовательности и не ограничивает конфигурационное значение. Сама схема представлена на рис. 1, где  $C$  – запрос,  $E_n$  – сигнал, разрешающий работу ККО. В схему включён двухвходовый вентиль NAND, отвечающий за генерацию частоты, поскольку раз в некоторое время (зависящее от значения запроса) он инвертирует предыдущий сигнал, что и создаёт колебание.

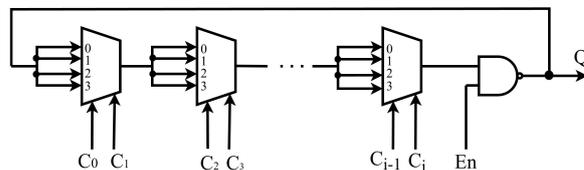


Рис. 1 – Структура ККО на базе мультиплексоров

## II. ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для того, чтобы измерить период ККО, необходимо иметь генератор с известной частотой. В рамках исследования, проводимого на FPGA Xilinx серии Artix-7, им выступает встроенный генератор тактовых импульсов частотой 100 МГц. На рис. 2 представлена схема, позволяющая отмерить необходимое время, т.е. число тактов встро-

енного генератора, и получить количество тактов ККО, прошедших за это время, что и является основной исследуемой величиной.

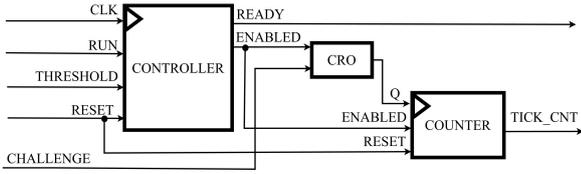


Рис. 2 – Структурная схема устройства измерения количества тактов ККО

Здесь блок контроллера (CONTROLLER), когда подан сигнал запуска (RUN), используется для обратного отсчёта от времени, заданного порогом (THRESHOLD), по внутреннему генератору тактовой частоты (CLK). Пока идёт отсчёт, разрешающий сигнал (ENABLED) активирует ККО и счётчик. По истечении этого времени счётчик и ККО останавливаются, и на выход схемы подаётся сигнал готовности (READY).

Будем называть экспериментом серию измерений для конкретных значений запроса и порога. Поскольку импульсы встроенного тактового генератора и последовательность, которую генерирует ККО, не синхронизированы, можно ожидать, что в рамках одного эксперимента со счётчика будет снято некоторое множество различных значений, что и повлечёт за собой погрешность измерения. Настоящее исследование определяет минимально необходимое окно для достаточно точного измерения периода осциллятора. С использованием предложенной схемы и некоторых запросов были собраны следующие данные: серия длиной 100 измерений для каждого порога от 1 до 65501 с шагом 100 единиц.

### III. АНАЛИЗ ДАННЫХ

Данные собирались в единицах тактов, а не в значениях периода, что позволяет избежать необходимости в дополнительной логике, связанной с вычислением значения периода при известной частоте синхронизации. Это минимизирует ошибки округления, так как перевод количества тактов в период может приводить к потере точности. Вместо этого можно выполнять умножение на дробные числа на заключительном этапе, что обеспечивает большую точность.

Поскольку длина серии в эксперименте достаточно большая, можно предполагать, что истинное значение периода ККО стремится к матожиданию периода всей серии. Тогда, полагая известными период системных часов  $T_{clk}$ , порог  $Thr_i$  и среднее арифметическое количества тактов ККО  $N_{avg_i}$  для  $i$ -го эксперимента, получим период ККО:  $T_{cro} = \frac{T_{clk} \cdot Thr_i}{N_{avg_i}}$ . Также, принимая количество тактов ККО в  $j$ -том измерении эксперимента как  $N_j$ , а длину серии в эксперименте как  $n$ , рассчитаем среднеквадратичную погрешность  $S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (N_j - N_{avg_i})^2}{n-1}}$  и ошибку периода  $\xi = 0.5 \cdot \left( \frac{T_{clk} \cdot Thr_i}{N_{avg_i} - S_i} - \frac{T_{clk} \cdot Thr_i}{N_{avg_i} + S_i} \right)$ . Итоговое выраже-

ние принимает форму  $T_{cro} \pm \xi$ . Очевидно, что, чем меньше  $\xi$ , тем более точным можно считать эксперимент. После проведения вычислений над данными при некотором значении запроса был получен график, представленный на рис. 3.

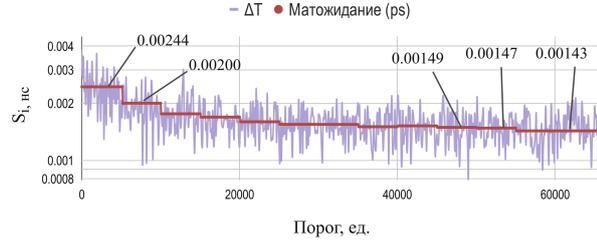


Рис. 3 – График зависимости среднеквадратичной погрешности от порога

Для каждых 50-ти значений порога было рассчитано значение матожидания (МО), показанное на графике ступенчатой линией. Линия выравнивается, говоря об уменьшении погрешности. Также приведены значения МО на некоторых отрезках. Когда значение порога начинает превышать  $10^4$  единиц, среднее значение погрешности опускается ниже двух пикосекунд (с относительной погрешностью 0.0167%), а, когда порог превосходит  $4.5 \cdot 10^4$  единиц, МО приобретает ещё одну верную значащую цифру (значение  $1.49 \cdot 10^{-3}$  пс на графике составляет 0.01406% относительной погрешности). При этом обе ошибки всё ещё имеют одну верную значащую цифру – погрешность в одну пикосекунду, поэтому можно утверждать о том, что без существенных потерь в точности, но при её достаточности, в рассмотренной схеме для измерения периода ККО достаточно отсчитать не менее  $10^4$  импульсов встроенного генератора тактовой частоты.

### IV. ВЫВОДЫ

По итогам данной работы экспериментально установлено, что при отсчете не менее  $10^4$  импульсов встроенного генератора тактовой частоты обеспечивается достаточная точность измерения периода ККО – относительная погрешность не превышает 0,0167%. Дальнейшее увеличение числа импульсов генератора до  $4.5 \cdot 10^4$  повышает точность измерения периода ККО до 0,01406% относительной погрешности. Такие значения погрешности обеспечивают необходимую точность измерений, а предложенная схема устройства для измерений характеризуется простотой в реализации структуры.

1. Иванюк А. А., Ярмолик В. Н. Конфигурируемый кольцевой осциллятор с управляемыми межсоединениями. Безопасность информационных технологий, 2024 / А. А. Иванюк, В. Н. Ярмолик. – Т. 31. – № 2. – с. 121–133.
2. Иванюк А. А., Ярмолик В. Н. Физически неклонируемые функции на базе управляемого кольцевого осциллятора. Безопасность информационных технологий, 2023 / А. А. Иванюк, В. Н. Ярмолик. – Т. 30. – № 3. – с. 90–103.

# ПОСТРОЕНИЕ БИБЛИОТЕКИ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ОБРАТНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ КМОП СБИС

Черемисинова Л. Д., Черемисинов Д. И.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {cher, cld}@newman.bas-net.by

*Рассматривается задача обратного проектирования схем на транзисторном уровне, заключающаяся в экстракции из нее структуры на уровне логических элементов. Предлагаются графовые методы и программные средства распознавания набора подсхем, составляющих библиотеку элементов генерируемой логической схемы.*

## ВВЕДЕНИЕ

Сложность проектируемых в настоящее время КМОП СБИС диктует необходимость создания эффективных программных средств их тестирования. Инструментом, позволяющим существенно снизить трудоемкость тестирования электрических схем, служит средство их обратного проектирования (декомпиляции), в процессе которого по плоскому (одноуровневому) структурному описанию схемы на транзисторном уровне формируется функционально эквивалентное представление на уровне логических элементов [1]. При декомпиляции СБИС может быть известна библиотека логических элементов, использованная при компиляции топологии СБИС. В этом случае задача сводится к поиску в транзисторной схеме библиотечных подсхем и покрытию ими схемы.

В более общем случае, рассматриваемом в настоящей работе, библиотека элементов может быть неизвестной. Тогда задача сводится к распознаванию и выделению часто встречающихся подсхем из взаимосвязанных транзисторов, реализующих логические элементы, и формированию библиотеки элементов, встречающихся в схеме. Для этого множество выделенных транзисторных подсхем разделяется на классы взаимно эквивалентных не только на функциональном, но и топологическом уровне. Последнее позволяет обеспечить эквивалентность исходной и декомпилированной схем, которую можно верифицировать известными средствами LVS (Logic Versus Schematic check) проверки топологии СБИС.

Для произвольных схем задача установления топологической эквивалентности схем является NP-трудной, однако для транзисторных схем удается найти существенно более простое решение за счет учета особенностей графа, соответствующего структуре транзисторной схемы.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОД ЕЕ РЕШЕНИЯ

Исходным объектом при декомпиляции является плоское описание схемы КМОП СБИС, заданное в формате SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). В настоящей

работе рассматривается задача построения библиотеки часто встречающихся в анализируемой схеме транзисторных подсхем, для которых могут быть распознаны или не распознаны реализуемые или логические функции. В первом случае подсхемы представляют логические элементы, во втором псевдо элементы.

Для нахождения таких подсхем используется структурный подход к декомпиляции транзисторных схем [2], который позволяет разбить транзисторную схему на непересекающиеся подсхемы, представляющие группы транзисторов, связанных по току (рис. 1).

Найденная группа транзисторов реализует статический КМОП вентиль, если 1) транзисторы р-блока, состоящего из р-МОП транзисторов, расположены между цепями питания Vdd и выхода группы, а транзисторы н-блока, состоящего из н-МОП транзисторов, – между цепями выхода и шиной земли Gnd; 2) все пути из цепи выхода доходят до цепей питания (Gnd или Vdd) и наоборот; 3) р- и н-блоки группы имеют одинаковое количество транзисторов и реализуют взаимно инверсные функции.

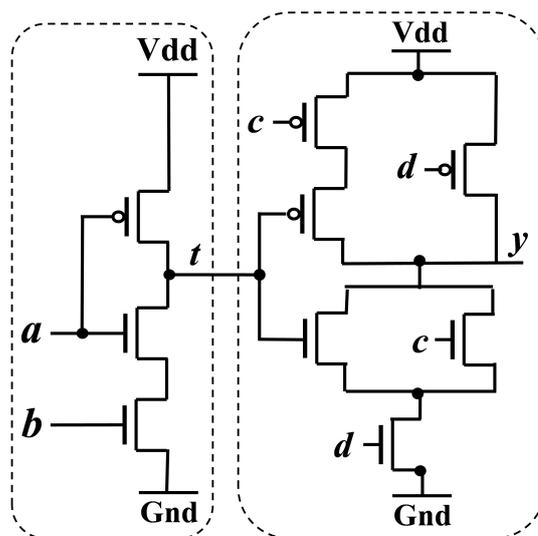


Рис. 1 – Две группы транзисторов, связанных по току

Логическая функция, реализуемая КМОП вентилем, определяется отрицанием функции про-

водимости  $f_n$  транзисторов  $n$ -блока, которая представляется в виде ДНФ, порождаемой проводимостями всех путей блока. Например, вторая из выделенных на рис. 1 групп транзисторов реализует КМОП вентиль с функцией  $f_n = d \wedge (t \vee c)$ . Каждая из найденных групп транзисторов, связанных по току, не являющихся КМОП вентилями, объявляется псевдоэлементом (первая группа на рис. 1).

При решении задачи декомпиляции используется графовая модель представления транзисторной схемы – помеченный неориентированный двудольный граф  $G = (V_1, V_2, E)$ ,  $V_1 \cap V_2 = \emptyset$ . Долю  $V_1$  составляют вершины, соответствующие выводам транзисторов (сток, затвор, исток, подложка) и портам схемы (выводам схемы), а долю  $V_2$  – вершины, соответствующие цепям – соединениям между выводами транзисторов. Метки вершин соответствуют типам полюсов схемы (разным выводам  $n$ -МОП и  $p$ -МОП транзисторов, портов схемы и цепей).

## II. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

Для классификации распознанных КМОП вентилях ДНФ их функций представляется в виде алгебраических скобочных выражений стандартного вида. КМОП вентили, которые реализуют функции, описываемые одной и той же скобочной формой, являются функционально эквивалентными. Каноническое описание представителя каждого класса эквивалентных подсхем порождает библиотечный элемент, который заменяет все подсхемы своего класса в плоском описании декомпиллируемой схемы.

Множество псевдоэлементов также разбивается на подмножества, каждое из которых содержит элементы с одинаковыми числами транзисторов и цепей. Например, выделенный слева на рис. 1 псевдоэлемент характеризуется парой чисел (3, 4).

## III. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ТОПОЛОГИЧЕСКОМ УРОВНЕ

Особенности топологической реализации схем на транзисторном уровне приводят к существованию функционально эквивалентных подсхем, не изоморфных в топологическом плане. В простейшем случае это может быть обусловлено взаимозаменяемостью выводов стока и истока МОП-транзисторов.

Если в декомпиллированной схеме топологически различающиеся, но функционально эквивалентные варианты подсхемы заменить одной из них, то декомпиллированная и исходная схемы будут функционально эквивалентными, но топологически не эквивалентными. Топологический аспект требует разбивать классы функционально

эквивалентных элементов на подклассы топологически эквивалентных.

## IV. РАЗБИЕНИЕ МНОЖЕСТВА СХЕМ НА ПОДМНОЖЕСТВА ТОПОЛОГИЧЕСКИ ИЗОМОРФНЫХ

На этом этапе имеется множество неориентированных помеченных графов, задающих структуры функционально эквивалентных подсхем. Проверка структурной эквивалентности пары схем сводится к задаче установления изоморфизма соответствующих графов. Для этого предлагается приводить все анализируемые графы к каноническому виду и вычислять хеши этих представлений [3]. Графы изоморфны, если хеши их канонизированных форм совпадают.

Для этого каждый помеченный неориентированный граф  $G$  дополняется ребрами, связывающими попарно вершины, соответствующие четырем выводам каждого из транзисторов. Задача канонизации сводится к перемаркировке вершин графа. Вначале множество вершин графа разбивается на блоки, которые содержат вершины с одинаковыми пометками и степенями. Затем каждой вершине графа приписывается вектор,  $i$ -я компонента которого равна числу вершин  $i$ -го блока, смежных с данной вершиной. Если некоторый блок разбиения содержит вершины с различными векторами, то он разделяется на более мелкие блоки вершин с одинаковыми векторами.

Процесс разбиения продолжается до тех пор, пока в каждом блоке останутся вершины только с одинаковыми векторами. Для рассматриваемого типа графов полученное разбиение на множество вершин состоит из одноэлементных блоков и определяет канонический вид графа.

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование библиотеки вентилях происходит во время работы программы декомпиляции [1]. Результатом является иерархическое SPICE-описание, первый уровень которого представляет библиотечные элементы – модели всех идентифицированных транзисторных подсхем, а второй уровень задает связи экземпляров этих элементов.

## VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черемисинов, Д. И. Извлечение сети логических элементов из КМОП схемы транзисторного уровня / Д. И. Черемисинов, Л. Д. Черемисинова // Микроэлектроника. – 2019. – № 3 (48). – С. 224–234.
2. Черемисинов, Д. И. Распознавание логических вентилях в плоской транзисторной схеме / Д. И. Черемисинов, Л. Д. Черемисинова // Информатика. – 2021. – № 4 (18). – С. 54–65.
3. Черемисинов, Д. И. Канонизация графов при декомпиляции транзисторных схем / Д. И. Черемисинов, Л. Д. Черемисинова // Информатика. – 2022. – № 3 (19). – С. 25–39.

# ПРОБЛЕМА РЕАЛИЗАЦИИ СИММЕТРИЧНЫХ ПУТЕЙ ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ ТИПА АРБИТР НА ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ

Шамына А. Ю., Иванюк А. А.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий, кафедра информатики,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: {shamyna, ivaniuk}@bsuir.by

В работе обозначены проблемы реализации физически неклонлируемых функций типа арбитр на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), связанные с соблюдением условия симметрии для пар реконфигурируемых путей. Проанализированы задержки на уровнях коммутационных элементов и их соединений. Приведены решения проблемы построения симметричных пар путей АФНФ на ПЛИС

## ВВЕДЕНИЕ

Повсеместное использование информационных технологий, возрастающие требования к обеспечению безопасности их использования определяют актуальность разработки соответствующих средств защиты. Актуальным является использование физической криптографии, основанной на структурной сложности и невоспроизводимости некоторых параметров и характеристик физических систем. В области физической криптографии распространено использование физически неклонлируемых функций (ФНФ) [1].

ФНФ является структурой, позволяющей отображать множество запросов  $CH$  во множество ответов  $R$  уникальным и невоспроизводимым образом  $CH \rightarrow R$ . В цифровых устройствах преобладает использование ФНФ, базирующихся на уникальности и невоспроизводимости задержек распространения сигналов через их пути. Одним из таких типов ФНФ является ФНФ типа арбитр (АФНФ) [2-4].

Путь цифрового устройства представляет собой группу последовательно подключенных элементов и их соединений, имеющая единственный вход и единственный выход. Фундаментальным условием функционирования АФНФ является формирование множества ответов  $R$  на основе уникальных задержек множества пар симметричных путей. Задержки распространения сигналов через пару путей  $A$  и  $B$  ( $t_{pd}^A$  и  $t_{pd}^B$ ) сформированы случайной  $t_{pd,r}^A$ ,  $t_{pd,r}^B$  и статической составляющими  $t_{pd,s}^A$  и  $t_{pd,s}^B$ .

Случайные составляющие невозможно оценить до производства конкретного экземпляра цифрового устройства, а статические составляющие определяются на этапе проектирования.

Использование программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) в качестве платформы для реализации цифровых устройств, предоставляемых потребителю, определяет для них ак-

туальность использования средств защиты. Реализация АФНФ на ПЛИС связана со сложностью соблюдения условия симметрии для множества пар путей. Если имеется некая пара путей  $A$  и  $B$ , тогда условие симметрии определяется как  $|t_{pd,s}^A - t_{pd,s}^B| \rightarrow 0$ .

В случае несоблюдения этого условия для пар путей АФНФ наблюдается ухудшение характеристик случайности и уникальности [2-4], что часто приводит к невозможности использования АФНФ.

## 1. РЕАЛИЗАЦИЯ АФНФ

Структурная схема АФНФ представлена на рисунке 1. В ней можно выделить генератор тестового импульса (ГТИ), блок реконфигурируемых симметричных путей (БСП) и арбитр (АРБ).

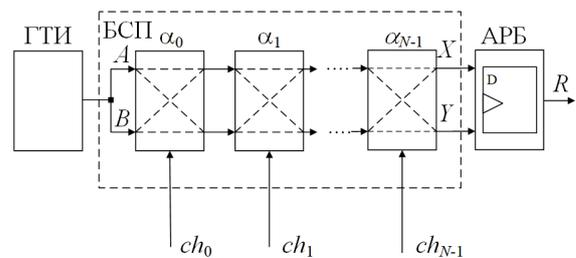


Рис. 1 – Структурная схема АФНФ

Одно звено реконфигурируемых путей АФНФ  $\alpha_i$ ,  $i \in [0; N-1]$  представляет собой структуру, имеющую два входа и два выхода, обеспечивающую прямую либо перекрестную коммутацию сигналов со входов на выходы в зависимости от значения запроса  $ch_i$ . Как известно, такая структура может быть построена с использованием двух двухвходовых мультиплексоров и в случае ПЛИС типа FPGA реализуется на технологических элементах LUT. Это приводит к асимметрии путей распространения сигналов в рамках одного звена  $\alpha_i$  (рисунок 2) и их соединений.

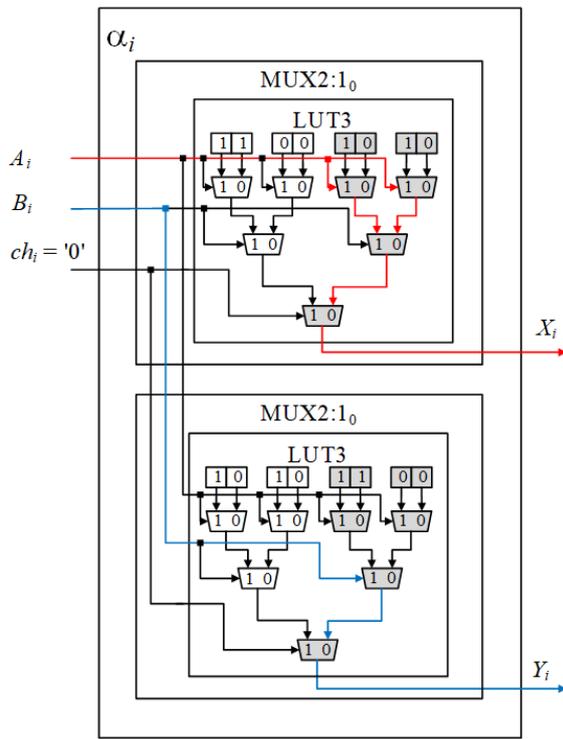


Рис. 2 – Схема звена реконфигурируемых путей АФНФ

Как видно из рисунка 2, исходя из внутренней структуры технологических компонентов LUT3, сигнал с входов  $A_i$  и  $B_i$  на выходы  $X_i$  и  $Y_i$  проходит через разное количество мультиплексоров внутри LUT, что определяет разные значения задержек распространения сигналов. В работе [3] проводится экспериментальное исследование задержек реконфигурируемых путей АФНФ  $A$  и  $B$ . Полученные результаты демонстрируют разницу математических ожиданий  $\Delta(\mu_A, \mu_B) = 190$  пс, что может свидетельствовать о нарушении условия симметрии при синтезе реконфигурируемых путей. Для анализа асимметрии реконфигурируемых путей АФНФ в настоящей работе рассматривается асимметрия их коммутационных звеньев и соединений.

При автоматическом синтезе реконфигурируемых путей АФНФ наблюдается асимметрия распространения сигналов через их коммутационные звенья из-за неконтролируемого сопоставления информационных входов мультиплексоров с физическими входами LUT. При использовании технологических элементов LUT6 из серии ПЛИС Xilinx Artix-7 для реализации двухвходового мультиплексора возможны 120 вариантов конфигурации LUT. В работе [2] проведены экспериментальные исследования задержек таких конфигураций. Ввиду особенностей используемой схемы анализа задержек наиболее показательной статистической характеристикой, демонстрирующей временные различия задержек конфигураций LUT является среднеквадратичное отклонение\*.

Экспериментальный анализ задержек соединений технологических блоков реконфигурируемых

путей АФНФ невозможен без существенной модификации их структуры. Поэтому для этой цели для  $N = 128$  была создана параметрическая модель. Статистические оценки задержек (математическое ожидание  $\mu$ , среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  и их отношение) коммутационных элементов и их соединений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистические характеристики задержек реконфигурируемых путей АФНФ

Характеристика	Коммутационные элементы	Соединения
$\mu$	1369 пс*	563,33 пс
$\sigma$	3,8 пс	287,9 пс
$\sigma / \mu$	0,003	0,513

## II. РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИММЕТРИЧНЫХ ПУТЕЙ АФНФ НА ПЛИС

Для решения проблемы построения пар симметричных путей АФНФ могут применяться различные по своей сути и реализации методы. К ним относят: методы балансировки задержек путей с использованием управляемых линий задержки [2], методы на основе временных оценок задержек сигналов путей с возможностью автоматической реализации [3]. Либо использоваться альтернативные подходы к созданию пар симметричных путей, например, на основе перестановочных сетей с соблюдением условия симметрии за счет особенностей синтеза сложноструктурных элементов на ПЛИС [4].

## III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о наличии разниц статических составляющих задержек при реализации АФНФ на ПЛИС как на уровне коммутационных звеньев реконфигурируемых путей, так и на уровне их соединений. Причем, разница задержек на уровне соединений больше на несколько порядков разницы коммутационных элементов. Эти факты являются показателями нарушения условия симметрии пар путей и подтверждают необходимость использования альтернативных способов их синтеза на ПЛИС.

## IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pappu, R. Physical One-Way Functions: PhD Thesis in Media Arts and Sciences / R. Pappu. – Cambridge : Massachusetts Institute of Technology, 2001. – 154 p.
2. Шамина, А. Ю. Построение и балансировка путей физически неклонированной функции типа арбитра на FPGA / А. Ю. Шамина, А. А. Иванюк // Информатика. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 27–41.
3. Шамина, А. Ю. Автоматическая балансировка путей физически неклонированной функции типа «арбитр» / А. Ю. Шамина, А. А. Иванюк // Доклады БГУИР, 2023. – Т. 21, № 3. – С. 56–62
4. Иванюк, А. А. Физически неклонированная функция типа арбитра с нелинейными парами путей / А. А. Иванюк, А. Ю. Шамина // Системный анализ и прикладная информатика. – 2023. – № 1. – С. 54–62.

Секция «Математическое  
моделирование и компьютерная  
графика»

Section «Mathematical Modeling and  
Computer Graphics»



# СЕГМЕНТАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ИГРАХ НА ОСНОВЕ RFM-АНАЛИЗА

Гуревич О. В., Шатилова О. О., Кукин Д. П., Хмыз Д. Д.

Кафедра вычислительных методов и программирования

Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: kukin@bsuir.by, o.shatilova@bsuir.by, o.gurevich@bsuir.by, d.khmyz@bsuir.by

*В данной статье рассматривается вопрос сегментации платящих пользователей в играх на основе RFM-анализа. Установлены критерии, методы и диапазоны оценки. Предложены варианты использования результатов анализа для увеличения удержания пользователей, дохода и использования таргетированных акций.*

## I. СЕГМЕНТАЦИЯ АУДИТОРИИ

Сегментация аудитории – это разделение пользователей игры на различные группы на основе общих атрибутов, таких как физическое местоположение, оплата, поведение в игре и др.

Сегментация аудитории позволяет строить эффективные сегментированные стратегии для игр, увеличить точность таргетинга, повысить метрики удержания, а также осуществлять попытки к повышению рентабельности инвестиций (ROI).

Платящие пользователи являются самыми ценными для игры, поэтому сегментация этой категории является принципиально важным вопросом для оценки качества аудитории. Платящих пользователей сегментируют по различным показателям:

- Демографический (кто платит больше, мужчины или женщины?).
- Психографический (Какие интересы у ваших пользователей? Каких ценностей они придерживаются?).
- Поведенческий (Кто больше всего играет в игру? Кто прошел все уровни и разблокировал каждого персонажа? Кто чаще всего смотрит видео с вознаграждением? И кто больше всего готов совершать покупки в приложении?).
- Технографический (Какие устройства используют пользователи?).
- И многие другие.

## II. RFM — АНАЛИЗ

Для сегментации платящей аудитории (особенно при использовании аналитических платформ) можно применять RF- или RFM-анализ.

RFM-анализ (Recency, Frequency, Monetary) – это модель для сегментации клиентов на основе их истории транзакций – как давно, как часто и сколько они совершали покупок.

Обычно задача такого анализа – изучить поведение пользователей и то, как они совершают платежи, чтобы сделать более релевантные предложения каждой из выделенных групп.

В структуру RFM-анализа входят три показателя:

- Recency – разница между текущей датой и датой последнего платежа, совершенного пользователем.
- Frequency – количество транзакций, которые сделал пользователь за исследуемый временной промежуток.
- Monetary – сумма покупок пользователя за этот же период.

Все эти три показателя рассчитываются отдельно для каждого пользователя за выбранный период, после чего пользователям должна быть предоставлена оценка по каждому из трех критериев. Диапазон оценок может быть разным: 1-3, 1-4, 1-5 и т. д. Чем шире диапазон, тем больше групп получится и тем «чувствительнее» и точнее будут показатели, но в то же время тяжелее будет с ними работать из-за большого разнообразия комбинаций.

Для выставления баллов пользователям обычно используется два метода.

1. Фиксированные диапазоны. В этом случае необходимо самостоятельно определить границы для каждого из критериев. Границы будут проявлять сильную зависимость от жанра игры, платформы, целевой аудитории и т.п. Например, можно задать следующие рамки для параметров RFM.

### 1.1. Recency

- i. Пользователи, которые платили последний раз давно (более 14 дней назад – для мобильных игр; более 2 месяцев назад для проекта уровня AAA), получают 0 баллов.
- ii. Те, которые платили 8-14 дней (15-30 дней для AAA) назад, – 1 балл.
- iii. Те, которые платили последний раз недавно (1-7 дней назад), получают 5 баллов.

### 1.2. Frequency

- i. Совершившие только 1 платеж за выбранный период получают 0 баллов.

- ii. Пользователи, платившие со средней регулярностью и совершившие 2–3 платежа, – 1 балл.
- iii. Платившие часто и сделавшие более 3 платежей – 5 балла.

### 1.3. Monetary

- i. Те, пользователи, которые заплатили \$1-10, получают 0 баллов (сумма определяется исходя из минимально возможного платежа в игре).
- ii. Те, которые заплатили \$11-20, получают 1 балл. Те, что оставили в продукте более \$20, получают 5 баллов.

2. Квантили. Второй метод определения границ – использование квантилей. Для этого нужно упорядочить данные по одному из критериев, например количеству платежей, а затем разделить пользователей на равные группы. Например, выделить 4 группы по 25% пользователей в каждой. Либо выделить первые 10% пользователей и присвоить им максимальный балл как платящим много, следующим 50% – 1 балл, и тем, кто платил совсем мало (40%), – 0 баллов. В этом случае границы определяются экспертно[1].

## III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализировав наиболее популярный аналитические платформы можно сделать вывод что наиболее популярными коэффициентами для назначения рейтинга в системе RFM-анализа являются «1-3-5» и «1-2-3» [2,3], хотя встречаются и «0-1-5», «0-1-2» и некоторые другие. В большинстве случаев систему коэффициентов можно задать в ручном режиме.

После назначения профилю пользователя соответствующих коэффициентов можно разделять их на группы, например, группа 555 – платят много, часто, последний раз – недавно или группа 500 – впервые заплатили недавно и мало и т.д. В результате сегментирования пользователей на такие группы можно таргетированно изменять взаимодействие с пользователями внутри (например, посылать дополнительные уведомления пользователям, которые уже давно не платят, или давать скидку тем, кто платит много, но редко).

При использовании RFM-анализа важно правильно взаимодействовать с некоторыми особенными сегментами (далее используются коэффициенты 0-1-5):

- сегмент 555 – самые лояльные и активные пользователи. Этот сегмент необходимо удерживать любыми доступными способами;
- сегмент 055 – пользователи, платившие много и часто, но последний раз довольно давно. Это лояльные пользователи на грани ухода. Обычно в мобильных играх таким пользователям предлагают самые большие скидки, пакеты бонусов и т.д. Все действия направлены на удержание;
- сегмент с  $R = 5$  вне зависимости от значений в остальных сегментах – пользователи, которые совсем недавно конвертировались в платящих. Максимально перспективный сегмент. Основная цель – помочь сделать повторные платежи;
- сегмент 000 – пользователи которые платили давно, мало и редко. Скорее всего это уже потерянные пользователи. Если в игре этот сегмент растет, то нужно срочно принимать решения об изменениях в игре (например, размещать новый контент, вводить дополнительные акции или пере-смастивать геймдизайн на разных уровнях). Значительное увеличение этого сегмента является признаком затухания игровой активности во всем проекте, потенциальной потери прибыли / дохода и потери аудитории.
- RFM-анализ – полезный инструмент сегментирования пользователей, позволяющий проанализировать платящую аудиторию проекта, выявить превалирующие сегменты, таким образом определить слабые места в приложении, а также повысить удержание, конверсию и доход, взаимодействуя с каждым пользовательским сегментом наиболее подходящим способом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2005. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 25.01.2006.
2. Львовский, С. М. Набор и вёрстка в системе LaTeX / С. М. Львовский // Издательство: МЦНМО, 2006. – 448 с.
3. Сабиров, В. Игра в цифры. Как аналитика позволяет видеоиграм жить лучше. – 2-е издание / В. Сабиров. – Москва: Эксмо, 2022.
4. Exploring Game Analysis with Devtodev [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.devtodev.com/>. – Дата доступа: 06.11.2024.
5. GoogleAnalytics4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developers.google.com/analytics?hl=ru>. – Дата доступа: 06.11.2024.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ

Журавлёв В. И., Наумович Н. М., Стежко И. К., Колбун В. С.

Центр 1.6, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: vadzh@bsuir.by

*Рассматривается способ уменьшения потерь СВЧ-тракта приёмопередающего модуля с помощью активного охлаждения переключающих компонентов. Тепловой анализ переключателя мощности указывает на возникновение допустимых градиентов температуры при использовании термоэлектрического охлаждения*

## ВВЕДЕНИЕ

Центральной проблемой СВЧ-техники для космического радиолокатора с синтезированной апертурой является построение приёмопередающих модулей (ППМ) фазированной антенной решетки с заданными характеристиками. ППМ должны обеспечивать переключение различных поляризаций, максимальный коэффициент полезного действия, высокую температурную стабильность и точность установки параметров, минимальную массу, технологичность при серийном изготовлении и низкую стоимость. Основным требованием радиолокатора является качество результирующего изображения и его разрешающая способность [1]. Оптимизация тепловых режимов является важнейшим методом обеспечения стабильного и качественного функционирования электронных модулей [2]. Одним из действенных способов уменьшения потерь СВЧ-тракта ППМ является посредством использования активного охлаждения и термостабилизации ключевых компонентов. Применение методов управления тепловым режимом требует проведения соответствующего моделирования для создания наиболее эффективной конструкции.

### 1. ПОСТРОЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ

Ввиду того, что требования к температурным режимам для нормального функционирования конечного устройства высоки, а активные компоненты СВЧ систем становятся все более сложными при меньших размерах, усилительные каскады имеют всё большую удельную выходную мощность. Повышение температуры работы усилителя мощности ведёт к ухудшению основного параметра в СВЧ трактах: коэффициента передачи или мощности передающего тракта. Разница в потерях тем ощутимее, чем выше рабочая частота и выше температура корпуса усилителей мощности. В рассматриваемом ППМ используются два коммутатора, один предназначен для переключения поляризации антенной решётки и должен обладать высокой входной мощностью. Ввиду того, что мощные переключатели расположены в тракте после оконечного каскада усиле-

ния передающего канала ППМ, вносимые потери существенно влияют на характеристики всей радиолокационной системы [3]. Основную трудность при таком решении представляет не просто отведение избыточной температуры, а дополнительно охлаждение с поддержанием максимально низкой температуры основания корпуса микросхемы переключателя ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  в допустимом диапазоне.

Одним из решений является использование термоэлектрических модулей (ТЭМ). Размеры теплоотводящего основания микросхемы переключателя в корпусе QFN не превышают  $5\times 5$  мм. Поэтому целесообразно использовать дополнительный теплопроводящий держатель между основанием корпуса микросхемы и ТЭМ. Вся теплообменная система требует локальной теплоизоляции во избежание дополнительных тепловых потерь и возникновения конденсата. Теплоперенос в ТЭМ модели описывается только механизмом теплопроводности, коэффициент теплопередачи конвекцией пренебрежимо мал. Это удовлетворяет требованию общих граничных условий и слабо влияет на получаемую точность. Топологически трёхсекционный ТЭМ представлен тремя кубоидами, образующими усечённую пирамиду с начальной температурой на горячей поверхности и заданным тепловым потоком на холодной поверхности.

Распределение тепла в таких структурах на поверхности многослойных материалов при импульсном нагреве носит неоднородный характер. Аналитические методы с использованием преобразований Фурье и Лапласа позволяют определить значения критических температур полупроводниковых структур с небольшими погрешностями и широко используются на практике при термических импульсных нагрузках. Они наиболее оптимально учитывают реальные условия теплопереноса в полупроводниковом кристалле при наличии теплоотвода. Для оптимизации параметров модели рассматривается моделирование теплопереноса теплопроводностью при граничных условиях второго рода. Математическая модель основана на системе уравнений теплопро-

водности в твёрдом теле, уравнении движения Навье-Стокса, уравнении сохранения энергии и уравнении неразрывности. В рассматриваемой расчётной области присутствуют несколько под-областей, система уравнений для каждой подобласти записывается отдельно.

В рассматриваемой постановке задачи определения теплового поля в области переключателя не требуется решать задачу теплопереноса для всей топологии ППМ. Решается только модель для локальной области микросхемы переключателя. Достаточно определить мощность источников тепла и тепловые потоки на границе печатной платы переключателя.

Адекватность тепловой подмодели термоэлектрического модуля имеет важное значение, так играет ключевую роль в распределении температуры вдоль кристалла микросхемы переключателя. Помимо термоэлектрических характеристик, выбор рассматриваемого ТЭМ обусловлен минимальными размерами холодной стороны. При этом высота ТЭМ должна быть минимальной для размещения между верхней и нижней крышкой ППМ с учётом теплоотвода с горячей стороны.

## II. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

На данном этапе рассматривается тепловая модель на уровне кристалла микросхемы переключателя с выводами. Во-первых, необходимо определить, эффективно ли охлаждение самого кристалла; во-вторых, важно избежать больших тепловых градиентов при работе ТЭМ. Основным механизмом передачи тепла в это случае – теплопроводность по оси, нормальной к охлаждающей поверхности ТЭМ (ось  $OZ$ ). Результаты моделирования показывают, что механизм теплопроводности эффективно и равномерно работает вдоль всего теплового пути (рис. 1). Очевидно, что в местах крепления и пайки этот механизм замедляется вследствие увеличенного переходного теплового сопротивления, что не оказывает значительного влияния.

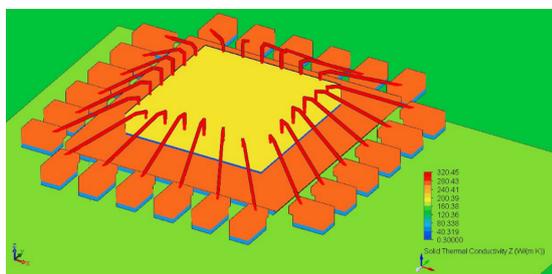


Рис. 1 – Теплопроводность микросхемы переключателя по оси  $OZ$

Рассматривая распределение температуры вдоль кристалла и корпуса микросхемы переключателя, можно установить, что в этих областях

отсутствуют существенные градиенты температуры (рис. 2). Это чрезвычайно важно, так как позволяет переключателю, а следовательно, и всему СВЧ тракту надёжно функционировать и не испытывать термомеханических напряжений. Результаты показывают перепады температуры не более  $1^\circ\text{C}$  вдоль кристалла и не более  $2-3^\circ\text{C}$  по корпусу микросхемы и по нормали к поверхности ТЭМ, что является вполне допустимым в процессе эксплуатации при заданной мощности.

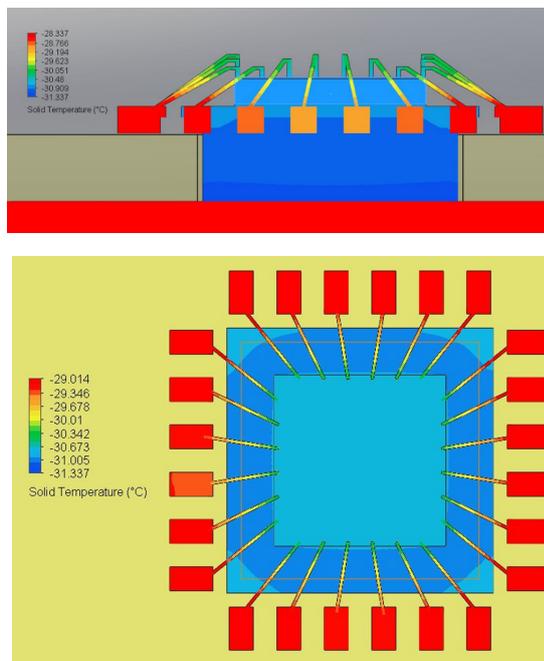


Рис. 2 – Градиенты температуры при наличии ТЭМ

Как видно из результатов, используемая топология позволяет избежать больших градиентов температуры даже на сравнительно больших по размеру структурах. Предварительная оценка рассмотренным способом на этапе проектирования позволяет вовремя спрогнозировать возникновение неоднородного разогрева структуры и принять меры по её оптимизации.

## III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наумович, Н. М. Представление радиолокационных данных космического радиолокатора с синтезированной апертурой / Н. М. Наумович, Р. П. Богущ, В. И. Журавлёв, В. Т. Ревин, И. К. Стежко, С. П. Урбанович // Восьмой Белорусский космический конгресс, 25-27 октября 2022 года, Минск : материалы конгресса : в 2 т. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – Т. 1. – С. 222–225.
2. I. Torralbo *et al.* Thermal Analysis of the Solar Orbiter PHI Electronics Unit // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – Vol. 56, no. 1. – 2020. – P. 186–195.
3. V. Kumar *et al.* Thermal Equilibrium in T/R Module Operation and Active Phased Array Antenna Calibration / R. K. Verma, U. S. Pandey, K. S. Beenamole and R. K. Gangwar // 2021 IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMARC), KANPUR, 2021. – P. 1–4.

# ТЕПЛОВЫЙ ИМПЕДАНС В СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ РАЗОГРЕВА КОМПОНЕНТОВ СИЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Журавлёв В. И., Петровский И. И., Свито И. Л., Стешенко П. П.

Кафедра теоретических основ электротехники

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: vadzh@bsuir.by

*Рассматривается эквивалентная тепловая сеть для моделирования двух взаимосвязанных силовых компонентов. Показано влияние саморазогрева и взаимного нагрева компонентов на тепловой импеданс системы вследствие неоднородного выделения избыточной мощности*

## ВВЕДЕНИЕ

Реализация методов прямого измерения температуры в силовой электронике с помощью специально встроенных электронных компонентов или инфракрасного излучения нередко оказывается затруднена из-за стоимости, точности и сложности применения. В качестве альтернативы методам прямого измерения можно рассматривать компактные тепловые модели как средство сравнительно точного прогнозирования температуры силовых компонентов при относительно низкой стоимости. Задача заключается в эффективности алгоритма управления мощностью, которая напрямую зависит от точности тепловой модели, используемой для прогнозирования температуры.

Компактное тепловое моделирование силовых преобразователей для нахождения температуры их критических электронных компонентов можно выполнить посредством построения тепловой модели на основе эквивалентной RC-цепи. Благодаря своей простоте, RC-сети Фостера или Кауэра предпочтительны для решения линейных переходных тепловых задач [1]. Основная задача при этом заключается в необходимости получения тепловых свойств компонентов и теплового импеданса с учётом эффектов саморазогрева и перекрестных связей между компонентами [2].

### 1. СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМНОГО РАЗОГРЕВА

Аналогия между электрической RC-цепью и тепловой RC-цепью позволяет оценить тепловой режим прибора в зависимости от выделяемой избыточной мощности. В электрической цепи ток протекает через RC-сеть, в результате чего на двух её концах возникает разность напряжений. Аналогично, в тепловой цепи генерируемая мощность проходит через тепловую сеть, что приводит к разнице температур в сети. На рис. 1 показана одноступенчатая RC-цепь Фостера. Основные соотношения для этой цепи можно получить, если просуммировать ток, протекающий через её ветви. Тепловая ёмкость  $C_{th}$  может быть представлена как произведение  $\rho c V$ , тогда управляющее уравнение теплопереноса может быть записано следующим образом:

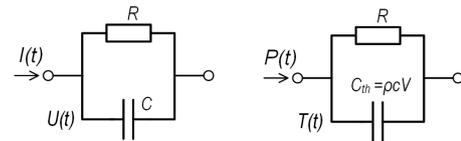


Рис. 1 – Рис. 1 – Электрическая (слева) и эквивалентная тепловая (справа) сети

$$P(t) = C_{th} \frac{dT(t)}{dt} + \frac{T(t)}{R_{th}},$$

где  $T$  – температура;  $t$  – текущий момент времени;  $P$  – мощность теплового потока;  $c$  – удельная теплоёмкость;  $\rho$  – плотность материала компонента;  $V$  – объём компонента.

Рассмотрим структуру топологии, тепловые характеристики которой получены ранее методом конечных элементов [2]. Как правило, компактная сетевая модель должна удовлетворять принципу суперпозиции. Для этого извлекаются параметры единичной RC-сети для моделирования эффектов саморазогрева для каждой рассматриваемой области корпуса компонента. Извлечённые параметры RC-сети представляют собой тепловые ветви от кристалла к системе охлаждения, включая ключевые участки, например, слои припоя. С другой стороны, эффекты перекрёстных связей включаются в связанную модель путём рассмотрения подмоделей саморазогрева. Эта дополнительная тепловая сеть представляет собой связанный тепловой импеданс между двумя корпусами. Мощность, рассеиваемая соседним компонентом, включается в тепловую сеть в качестве источника тепла. Для моделирования эффекта тепловой связи IGBT, представляется сетью, включающей саморазогрев по рассеиваемой мощности, полученной из электрической модели, и соответствующие слои тепловой эквивалентной сети, к которой подключается модель диода. Для прогнозирования температуры в диоде тепловая модель представляется потерями мощности диода и соответствующими цепями тепловой эквивалентной сети.

При построении матрицы теплового сопротивления ступенчатая потеря мощности прикла-

дывается в качестве постоянного источника тепла к одному кристаллу в течение определённого времени. Тепловой отклик отслеживается во всех остальных намеченных точках на соседнем компоненте. Кривые переходного теплового сопротивления получаются в виде серии кривых в каждой рассматриваемой точке. Для определения теплового сопротивления конкретной тепловой ветви между двумя слоями, обусловленной эффектом саморазогрева, выбираются две последовательные точки. При оценке переходного теплового сопротивления саморазогрева между двумя слоями полученные температурные кривые вычитаются из соседних точек и делятся на величину рассеиваемой мощности микросхемы в качестве источника тепла. Тепловой импеданс  $Z$  саморазогрева между переходом кристалла и припоем можно оценить как:

$$Z_{th}^{j-cs} = \frac{T_j - T_{cs}}{P_{IGBT}},$$

где  $T_j$  – температура перехода в предполагаемой точке контроля на кристалле IGBT,  $T_{cs}$  – температура припоя кристалла в соответствующей точке контроля,  $P_{IGBT}$  – ступенчатые потери мощности IGBT.

Соответствующая эквивалентная тепловая сеть Фостера, показана на рис. 2. Её параметры могут быть извлечены из данных, полученных ранее в результате расчёта методом конечных элементов [3]. Каждый слой в IGBT-модуле представлен тремя RC-ячейками Фостера. Пары RC показаны до третьего порядка для точности аппроксимированной кривой  $Z_{th}(T)$ . При необходимости в дальнейшем сеть Фостера может быть преобразована в сеть Кауэра.

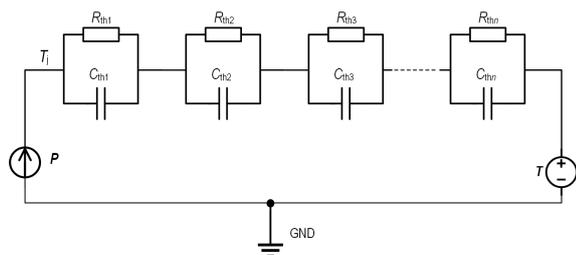


Рис. 2 – Эквивалентная тепловая сеть Фостера рассматриваемой структуры

## II. ТЕПЛОВОЙ ИМПЕДАНС В СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

Для получения параметров тепловой сети используются ступенчатые потери мощности на основе полученного переходного теплового профиля при анализе методом конечных элементов [2]. Переходные тепловые характеристики преобразуются в кривые переходного теплового сопротивления для получения эквивалентных RC-параметров тепловой сети для соответствующих тепловых ветвей между двумя последовательными

слоями. Для рассматриваемой сети определяется разность температур между переходом и припоем в каждой контрольной точке корпуса, когда к другому корпусу прикладывается ступенчатая потеря мощности. Затем разность температур делится на потери мощности соседнего элемента. Далее фиксируется повышение температуры в контрольной точке вследствие теплового влияния между IGBT и диодом за минусом саморазогрева и затем делится на потери мощности, рассеиваемые в транзисторе IGBT. Полученный таким образом импеданс является связанным импедансом IGBT с диодом. Рассчитанный тепловой импеданс саморазогрева вследствие избыточной мощности с учётом взаимного нагрева показан на рис. 3.

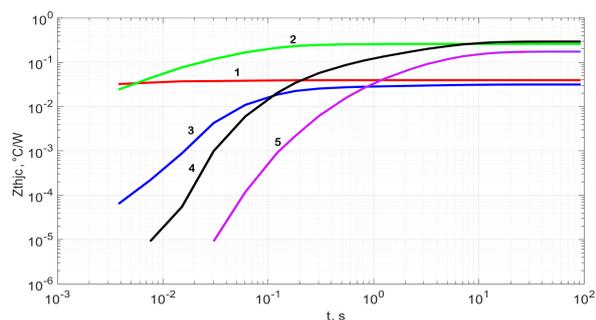


Рис. 3 – Тепловой импеданс при саморазогреве и взаимном нагреве: 1 – «переход кристалла– припой»; 2 – «припой – кристаллодержатель»; 3 – «кристаллодержатель – стенка корпуса»; 4 – «стенка корпуса – теплоотвод»; 5 – с учётом взаимного нагрева

Как видно, температура кристалла достигает стабилизированного участка в течение 100 с из-за большего влияния теплоотводящих элементов корпуса. При взаимном тепловом влиянии в начале происходит временная задержка в повышении температуры, так как самонагревающиеся кристаллы находятся рядом на одном уровне относительно внешнего теплоотводящего основания. Как следствие, происходит задержка и в повышении температуры кристаллов за счёт взаимного теплового взаимодействия.

## III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Faria de Souza, D. *et.al.* Estimation of IGBT Module Degradation Using Foster's Model and Structure Function // 2023 IEEE 8th Southern Power Electronics Conference (SPEC). – Florianopolis, 2023. – P. 1–7.
2. Журавлёв, В. И. Моделирование взаимного разогрева компонентов силовых преобразователей / В. И. Журавлёв, И. И. Петровский, И. Л. Свито // Информационные технологии и системы 2023 (ИТС 2023) : материалы Международной научной конференции, Минск, 22 ноября 2023 г. – Минск : БГУИР, 2023. – С. 141–142.
3. K. Ma, M. Xu and B. Liu Modeling and Characterization of Frequency-Domain Thermal Impedance for IGBT Module Through Heat Flow Information // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2021. – vol. 36, no. 2. – P. 1330–1340.

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ИХ ТРАЕКТОРНЫМ ПРИЗНАКАМ

Коломиец В. В., Свинарский М. В., Чжо Ту

Военная академия Республики Беларусь

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: mechislav1993@gmail.com

Рассматривается задача радиолокационного распознавания воздушных объектов, актуальность которой обусловлена повышением точности и надежности принятия решений о классе наблюдаемого объекта. В качестве перспективного инструмента для решения этой задачи предлагается алгоритм машинного обучения с учителем – дерево решений С4.5. Приведены результаты оценки эффективности функционирования построенного дерева решений по тестовой выборке с искусственно введенным шумом.

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях стремительного развития технологий автоматизация процессов приобретает все большее значение. Неотъемлемой частью автоматизированных систем являются системы классификации, играющие ключевую роль в принятии решений, особенно в сферах, где последствия ошибок могут иметь критические значения. Военная сфера, где решения как правило принимаются в условиях ограниченного времени и высокой степени неопределенности, является ярким примером такой сферы. История насчитывает множество трагических случаев, когда гражданские самолеты сбивали как во время военных действий, так и в мирное время. Это подчеркивает актуальность задачи классификации воздушных объектов, особенно в контексте военного применения.

Основным источником информации о воздушной обстановке выступает радиолокационная станция, в которой решается три основные задачи [1]: обнаружение, измерение и распознавание. Под задачей распознавания принято понимать принятие решения о классе (типе) наблюдаемого объекта по выделенным классификационным признакам. В качестве основных классификационных признаков, которые могут выделять большинство радиолокационных станций, выступают траекторные признаки воздушных объектов [1]. Поскольку различные классы (типы) воздушных объектов обладают различными значениями высоты и скорости полета, то данные признаки являются информативными для решения задачи распознавания [1].

Важно отметить, что решение задачи распознавания необходимо осуществлять на дальних границах действия систем противовоздушной обороны с целью эффективного поражения наблюдаемого объекта. В связи с этим задача распознавания рассматривается применительно к радиолокационным станциям обзора, дальность действия которых составляет несколько сотен километров [1]. При этом особенностью движения воздушных объектов на дальних рубежах является

их полет на крейсерских значениях высоты и скорости полета, что обеспечивает максимальную дальность (продолжительность) полета объекта.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В контексте решаемой задачи рассматривается применение дерева принятия решений. Деревья решений представляют собой эффективный класс моделей машинного обучения, отличающихся высокой точностью и интерпретируемостью [2]. Их иерархическая структура, состоящая из узлов и листьев (рисунок 1), обеспечивает наглядное представление информации, что делает их предпочтительными по сравнению с другими моделями. Узлы содержат решающие правила, которые применяются для классификации данных, а листья представляют собой результат принятия решения о классе наблюдаемого объекта [2].

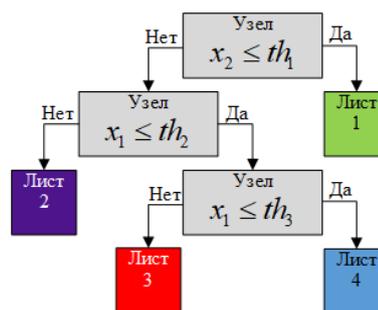


Рис. 1 – Пример дерева принятия решений

Процесс построения дерева решений основан на рекурсивном разбиении данных на подмножества, удовлетворяющие и не удовлетворяющие определенным правилам. Каждое подмножество затем снова делится на два, и так далее (рисунок 1). Процесс продолжается до тех пор, пока не будут выполнены условия останковки алгоритма. Следует отметить, что листьям соответствуют определенные области пространства признаков, где все объекты относятся к одному классу (рисунок 2).

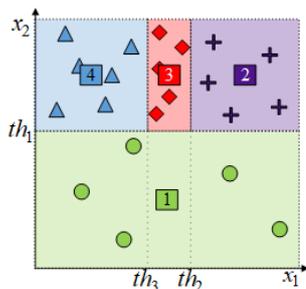


Рис. 2 – Пример областей принятия решений о классе объекта

Классификация новых объектов осуществляется путем прохождения по дереву от корневого узла до соответствующего листа. Каждый объект последовательно проходит по всем узлам, проверяя соответствие правилам, пока не достигнет листа, определяющего его класс. Такая иерархическая структура обеспечивает единственность решения, поскольку к каждому листу ведет только один путь, и объект может быть отнесен только к одному классу. Деревья решений представляют собой кусочно-постоянную аппроксимацию целевой зависимости, где аппроксимируемая функция является постоянной в каждой области пространства признаков, определяемой листом дерева. Отсутствие использования градиентных методов в процессе обучения обусловлено тем, что производная полученной функции равна нулю. При этом кусочно-постоянная аппроксимация может привести к переобучению, если дерево слишком сложное [2].

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Для оценки эффективности алгоритма радиолокационного распознавания по крейсерским значениям высоты и скорости полета наблюдаемого объекта проводилось математическое моделирование. В качестве распознаваемых объектов рассматривалось четыре класса объектов: крылатая ракета, вертолет, винтовой самолет, реактивный самолет. По представленной выборке осуществлялось построение дерева принятия решений по алгоритму C4.5 со следующими гиперпараметрами: максимальная глубина дерева составляла 10, минимальное количество наблюдений в узле 2, минимальное количество наблюдений в листе 1. Результат построенного дерева принятия решений в виде графов представлен на рисунке 3.

Для проверки эффективности функционирования построенного дерева решений формировалась тестовая выборка, представляющая собой исходную выборку объектов с учетом ошибок измерения радиолокационной станции. При этом ошибки измерения распределены по нормальному закону распределения с нулевым математическим ожиданием и заданным среднеквадратическим отклонением. Так для оценки высоты полета ошибка составляла 200 м, а для скорости 5 м/с.

В качестве основных показателей эффективности функционирования алгоритма дерева решений были выбраны: точность (precision), полнота (recall), F1-мера (F1-score) [2]. Результаты математического моделирования сведены в таблицу 1.

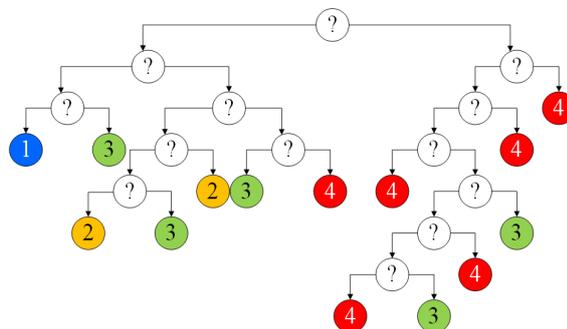


Рис. 3 – Вид построенного дерева решений

Таблица 1 – Результаты оценки эффективности алгоритма распознавания

Название	Precision	Recall	F1-score
Крылатая ракета	0.94	0.75	0.83
Вертолет	0.86	0.91	0.88
Винтовой самолет	0.62	0.47	0.53
Реактивный самолет	0.72	1	0.84
Среднее значение	0.78	0.78	0.77

Анализ представленных результатов позволяет утверждать, что анализируемый алгоритм в среднем характеризуется точностью 0.78, что является высоким результатом. При этом класс характеризующейся низким качеством распознавания является винтовой самолет. Данное обстоятельство обусловлено пересечением значений классификационных признаков с остальными классами, особенно с учетом ошибок измерения. Дальнейшие исследования направлены на анализ эффективности функционирования дерева решений построенного с учетом ошибок измерения высоты и скорости наблюдаемого объекта.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные результаты демонстрируют перспективность использования алгоритмов дерева решений для решения задачи радиолокационного распознавания, особенно в условиях ограниченных вычислительных ресурсов и необходимости высокой интерпретируемости результатов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: справочник / Я. Д. Ширман [и др.] ; под ред. Я. Д. Ширмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Радиотехника, 2007. – 512 с.
2. Рашка, С. Python и машинное обучение: машинное и глубокое обучение с использованием Python, scikit-learn и TensorFlow 2 / С. Рашка, В. Мирджалили // 3-е изд.; Пер. с англ. – СПб. : ООО «Диалектика», 2020. – 848 с.

# ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ

Е Куанг Мьят

Институт информационных технологий

Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: myatnyarna3714@gmail.com

*В докладе рассматриваются современные методы измерения эффективной площади рассеяния (ЭПР) радиолокационных объектов. ЭПР является важным параметром, характеризующим радиолокационную заметность целей и используемым для оценки дальности их обнаружения. Обзор методов включает натурные методы измерения, включающие динамические и статические, а также подходы масштабного физического моделирования. В работе анализируются достоинства и недостатки каждого из методов. Доклад подчеркивает значимость данных подходов для анализа отражательных свойств объектов и их использования в реальных радиолокационных системах.*

## ВВЕДЕНИЕ

Под эффективной площадью рассеяния объекта понимают площадь некоторой фиктивной идеально проводящей, изотропно отражающей поверхности, которая, будучи помещенной в точку нахождения цели перпендикулярно направлению падения зондирующих электромагнитных колебаний, создает в точке расположения радиолокатора ту же плотность потока мощности, что и реальная цель [1]. Измерение ЭПР является сложной задачей, поскольку требует учета множества факторов и использования дорогостоящего оборудования. Вследствие чего на сегодняшний день существует множество методов, позволяющих оценивать ЭПР целей с меньшими затратами и различной степенью точности. Количественные значения ЭПР характеризуют радиолокационную заметность цели и могут быть использованы для расчета потенциальной дальности обнаружения и создания математической модели объекта исследования.

### I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью доклада является проведение обзора методов измерения ЭПР. Существует множество методов исследования отражательных свойств радиолокационных целей. Каждый метод характеризуется своими достоинствами и недостатками, в связи с чем выбор того или иного метода зависит от условий решаемой задачи. Классификация методов измерения ЭПР представлена на рисунке 1 [1].

Все методы можно разделить на две большие группы: натурные и масштабного физического моделирования. Натурные охватывают методы динамических и статических измерений.

### II. НАТУРНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭПР

К натурным методам измерения ЭПР относятся динамические и статические [2]. При использовании динамического метода, измерение ЭПР производится в процессе полета объекта

наблюдения в условиях максимально приближенных к реальным, на основании результатов обработки отраженного сигнала. При статических измерениях объект наблюдения является неподвижным. Главным источником ошибок при этом являются переотражения от опор, на которых установлен объект. Данные ошибки компенсируются, поскольку имеют систематический и детерминированный характер. Статические измерения проводятся на специальных полигонах открытого или закрытого типов [1]. Особенность статических измерений заключается в том, что неподвижный объект облучается радиолокатором с последующим поворотом его в одной или двух плоскостях. Закрытые полигоны обеспечивают высокую точность проводимых измерений, однако испытания крупных объектов требуют дорогостоящего оборудования. В закрытых помещениях стены, пол и потолок должны быть покрыты специальным высококачественным поглощающим материалом, который предотвращает искажение измерений за счет вторичных отражений от поверхностей помещения. Чем ниже рабочая частота радиолокационного сигнала, тем более дорогой поглощающий материал требуется для качественного проведения измерений. Обычно используются материалы с коэффициентом рассеяния, не превышающим 0,50 дБ [2].

Таким образом, натурные методы, хотя и обеспечивают высокую точность результатов, требуют серьезных материальных и технических затрат. Эти методы позволяют моделировать реальные условия эксплуатации, что делает их незаменимыми для окончательной проверки радиолокационных характеристик объекта на этапах разработки и тестирования.

### III. МАСШТАБНОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Теоретический расчет значений ЭПР объекта предполагает решение задачи дифракции. При этом общая постановка дифракционной задачи

заключается в определении комплексных векторов напряженности электрического и магнитного полей, удовлетворяющих системе уравнений Максвелла, граничным условиям на поверхности объекта и условиям излучения на бесконечности. Методы решения дифракционных задач делятся на строгие и приближенные (асимптотические) [1]. Строгие методы решения дифракционных задач сводятся к решениям уравнений Максвелла в дифференциальной или интегральной формах. Для решения в дифференциальной форме применяются метод разделения переменных (МРП) и метод конечных разностей (МКР). При решении дифракционной задачи в интегральной форме чаще всего используется метод моментов (МоМ).

К приближенным относят методы геометрической оптики (ГО) и геометрической теории дифракции (ГТД), а также физической оптики (ФО) и физической теории дифракции (ФТД). В основе каждого приближенного метода лежит физическая гипотеза, которая позволяет либо полностью устранить, либо существенно упростить число математических преобразований и вычислений, которые при строгой постановке задачи необходимо учитывать. В настоящее время существует множество программных продуктов, предназначенных для расчета ЭПР трехмерных моделей объектов исследования (Altair Feko, CST Studio Suite, Ansys HFSS Tutorials и др.). В каждом из них реализованы вышеперечисленные методы или их сочетания.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерение ЭПР натурными методами является сложной задачей, поскольку требуется дорогостоящее оборудование и масштабная модель или же сам объект исследования. Однако полученные натурными методами результаты имеют высокую точность и являются наиболее приближенными к реальным условиям. Развитие математических алгоритмов и вычислительной техники позволило использовать оценки ЭПР, полученные путем масштабного физического моделирования, для проведения исследований на ранних этапах. При этом обеспечивается доступность измерений ЭПР широкой аудитории исследователей и получение предварительных результатов, которые имеют достаточную точность для анализа отражательных свойств объектов. Таким образом, комбинация натуральных измерений и моделирования позволяет достичь оптимального баланса между точностью, затратами и временем проведения экспериментов.

#### V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиолокационные системы: учебное пособие, издание 2-е, под ред. А. И. Николаева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 349 с.
2. Скольник, М. И. Справочник по радиолокации в 2-х книгах: под ред. А. И. Николаева; пер. с англ. / под ред. В. С. Вербы. – Москва: Техносфера, 2014. – Книга 2. – 672 с.

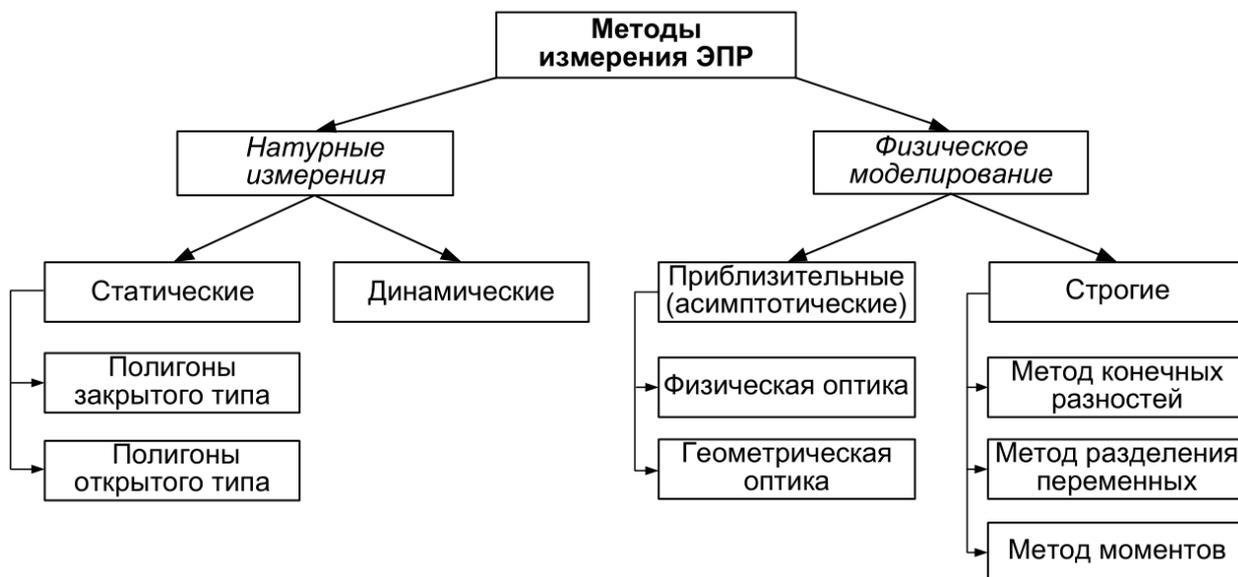


Рис. 1 – Классификация методов измерения ЭПР

# ЦИФРОВОЕ ПИРАТСТВО ИГР: ПРИЧИНЫ, ПОСЛЕДСТВИЯ И СПОСОБЫ БОРЬБЫ

Радченко А. Д.

Кафедра вычислительных методов и программирования,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: a.radchenko@bsuir.by

*В данной статье рассматриваются глобальные причины цифрового пиратства игр и приведены результаты исследований данной темы на основе опроса студентов Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, а также рассмотрены последствия и способы борьбы с цифровым пиратством в игровой индустрии.*

## ВВЕДЕНИЕ

Цифровое пиратство игр – это широко распространенная проблема в современном мире компьютерных технологий. Каждый год миллионы пользователей по всему миру скачивают и используют пиратские копии видеоигр, нарушая авторские права и причиняя значительный ущерб игровой индустрии. Однако, несмотря на очевидные негативные последствия, цифровое пиратство игр остается популярным явлением, и его причины до сих пор не до конца понятны. В этой статье рассмотрены причины цифрового пиратства игр, а также различные факторы, которые способствуют его распространению, проанализированы последствия цифрового пиратства игр для игровой индустрии, и представлены возможные меры по предотвращению этого явления.

### I. ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРИЧИНЫ ПИРАТСТВА ИГР

Пиратство игр является серьезной проблемой в индустрии компьютерных игр. Согласно исследованию, опубликованному в журнале "Journal of Intellectual Property Law & Practice" в 2022 году, пиратство игр может привести к значительным финансовым потерям для разработчиков и издателей игр. Одной из основных причин пиратства игр является высокая стоимость игр. Многие игроки не могут позволить себе покупать игры по полной цене, поэтому они прибегают к пиратству [1]. Другой причиной является неудовлетворенность игроков качеством игр. Если игроки чувствуют, что игра не стоит своей цены, они могут решить скачать пиратскую версию.

Кроме того, пиратство игр может быть вызвано отсутствием доступа к играм в определенных регионах. Если игры не доступны в определенных странах или регионах, игроки могут прибегнуть к пиратству, чтобы получить доступ к играм.

### II. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОСА СТУДЕНТОВ

## БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

В рамках исследования был проведен опрос среди 163 студентов, большинство из которых находятся в возрасте от 17 до 19 лет. Результаты опроса показали, что 86 процентов студентов когда-либо пиратили игры. Из них 23 процента пиратят все игры, а 32 процента пиратят только дорогие игры.

Основными причинами пиратства среди студентов являются высокая стоимость игр (54 процента), на втором месте в связи с политикой многих платформ по дистрибуции игр стала недоступность игр для продажи в регионе (48 процента), также частой причиной пиратства игр стало желание попробовать игру перед покупкой (38 процента). Когда студентов спросили, будут ли они покупать игру официально, если они уже прошли ее на пиратской версии, 30 процентов ответили, что нет, 31 процент ответили, что да, а 29 процентов ответили, что они будут покупать игру только на большой скидке, опрошенные также готовы покупать лицензионный продукт если в нём присутствуют функции недоступные в пиратской версии.

Отношение к пиратству среди студентов в основном нейтральное (72 процента), 25 процентов студентов относятся к пиратству позитивно, а 3 процента студентов относятся крайне негативно. Однако, когда студентов спросили, считают ли они скачивание игры, недоступной для официальной покупки по тем или иным причинам, пиратством, 71 процент ответили, что не считают это пиратством.

Среди студентов, которые пиратят игры, 62 процента готовы купить лицензионный продукт вместо скачивания пиратской версии когда хотят поддержать разработчика или интересны проекту, поэтому они покупают лицензию. Другой причиной покупки лицензии является то, что игру уже слишком долго не могут взломать (11 процентов).

Исследование пиратства среди студентов выявило высокий уровень пиратства в этой возрастной группе, с 86 процентов студентов, которые

когда-либо пиратили игры. Хотя отношение к пиратству среди студентов в основном нейтральное, многие готовы покупать лицензионный продукт, если они хотят поддержать разработчика или интересны проекту.

### III. ПОСЛЕДСТВИЯ ЦИФРОВОГО ПИРАТСТВА ИГР ДЛЯ РАЗРАБОТЧИКОВ

Цифровое пиратство игр является серьезной проблемой для разработчиков, приводя к значительным экономическим потерям, ущербу репутации, уменьшению инвестиций в инновации и влиянию на трудовую силу.

Экономические потери, связанные с цифровым пиратством игр, могут быть значительными. Как отмечает исследование, проведенное компанией Entertainment Software Association (ESA), в 2019 году экономические потери от пиратства игр в США составили более 3 миллиардов долларов. А в России из-за пиратства разработчики не получили прибыль в размере 324 миллиардов рублей [2]. Незаконное распространение игр снижает продажи лицензионных копий и, следовательно, уменьшает доходы компаний-разработчиков. Кроме того, пиратство может привести к потере прибыли от продаж дополнительных материалов, таких как DLC и микроплатежи.

Пиратство также наносит ущерб репутации разработчиков. Нередко пиратская версия игры содержит вирусы или вредоносное ПО, что может повлечь за собой негативное восприятие игровой компании. Это может привести к потере доверия со стороны игроков и уменьшению продаж лицензионных копий игр. Постоянная угроза цифрового пиратства может сдерживать инвестиции в новые игровые проекты и инновации. Разработчики, опасаясь потери прибыли из-за пиратства, могут быть более консервативными в своих творческих решениях и сократить бюджеты на разработку новых игр. Это может привести к уменьшению инноваций в индустрии видеоигр и к потере конкурентоспособности.

### IV. СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ЦИФРОВЫМ ПИРАТСТВОМ ИГР

Одним из основных способов борьбы с пиратством является улучшение защиты авторских прав. Это может быть достигнуто через использование эффективных систем защиты от копирования. Одним из самых известных решений для борьбы с этим является система защиты Denuvo, разработанная австрийской компанией Denuvo Software Solutions[3]. Кроме того, разработчики могут использовать технологии, такие как watermarking и fingerprinting, чтобы отслеживать и идентифицировать пиратские копии игр.

Другим эффективным способом борьбы с пиратством является развитие онлайн-сервисов,

которые предлагают легальные и удобные способы доступа к играм. Например, сервисы по подписке, такие как Xbox Game Pass и PlayStation Now, позволяют игрокам доступ к большому количеству игр за ежемесячную плату, что может уменьшить привлекательность пиратских копий.

Наконец, разработчики могут использовать юридические методы борьбы с пиратством. Например в Российской Федерации в таких случаях правообладателю доступны классические способы защиты исключительных прав (ст. 1252 ГК). Можно подать иск с требованием прекратить незаконную деятельность, изъять и уничтожить контрафактные товары, а также выплатить убытки или компенсацию[4].

### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровое пиратство игр является серьезной проблемой в индустрии компьютерных игр, которая может привести к значительным экономическим потерям, ущербу репутации, уменьшению инвестиций в инновации и влиянию на трудовую силу. Однако, несмотря на очевидные негативные последствия, цифровое пиратство игр остается популярным явлением, и его причины до сих пор не до конца понятны.

В этой статье были рассмотрены причины цифрового пиратства игр. Результаты опроса студентов Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники показали, что высокий уровень пиратства среди студентов может быть связан с высокой стоимостью игр, неудовлетворенностью игроков качеством игр и отсутствием доступа к играм в определенных регионах.

В целом, борьба с цифровым пиратством игр требует комплексного подхода, который включает в себя использование различных методов и источников. Разработчики должны использовать эффективные стратегии борьбы с пиратством, чтобы уменьшить риск пиратства и увеличить доходы. Кроме того, игроки должны понимать негативные последствия цифрового пиратства игр и поддерживать разработчиков, покупая лицензионные копии игр.

### VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Why Do People Pirate Games? / A Division by Zer0 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://dbzer0.com/blog/why-do-people-pirate-games/>.
2. Пиратство игр в России достигло рекордных масштабов / Securitylab [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.securitylab.ru/news/552596.php>
3. DENUVO – Лучшая система защиты от пиратства в играх? / Дзен [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://dzen.ru/a/ZvvzjBenmDKQ\\_5qA](https://dzen.ru/a/ZvvzjBenmDKQ_5qA)
4. Как защитить интеллектуальные права на видеоигру / Право.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.ru/story/241226/>

# ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ГРАФОВОГО ПОИСКА ПУТЕЙ В РАЗРАБОТКЕ ТРЕХМЕРНЫХ ИГРОВЫХ МИРОВ

Рязанцев Д. Д., Рязанцев Н. Д.

Кафедра вычислительных методов и программирования,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: {d.riazantsev, n.riazantsev}@bsuir.by

*В этой статье рассматриваются особенности применения алгоритмов графового поиска путей при разработке трехмерных игровых миров. Исследуются различные структуры данных, включая высотные карты, иерархические графы и воксельные сетки, которые помогают оптимизировать поиск пути и управление сложностью в игровых сценах. Рассмотрены преимущества и недостатки каждого метода, а также примеры их использования и интеграции для создания динамичных и увлекательных трехмерных игровых миров.*

## ВВЕДЕНИЕ

В сфере создания видеоигр сложно переоценить значимость реалистичных, увлекательных и полностью погружающих игровых вселенных. Одним из важнейших элементов разработки таких миров являются алгоритмы поиска пути на графах, которые позволяют персонажам и объектам находить оптимальные пути в сложных трехмерных средах. Существует множество методов реализации алгоритмов графового поиска в 3D-пространствах, каждая из которых обладает своими достоинствами и недостатками.

### I. ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМА ВНЕДРЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ГРАФОВОГО ПОИСКА В 3D-ПРОСТРАНСТВЕ

Ключевая сложность внедрения алгоритмов графового поиска в 3D-пространстве заключается в экспоненциальном росте вычислительных затрат и объема данных. В отличие от 2D-пространства, где путь определяется двумя координатами, в 3D-пространстве добавляется третье измерение, что существенно усложняет расчеты и объем хранимой информации.

Специфические трудности:

- Размер пространства поиска: В 3D-пространстве количество допустимых маршрутов значительно увеличивается, что требует большего количества вычислительных ресурсов и памяти;
- Топология и навигация: В 3D-пространстве объекты и препятствия могут располагаться более сложными и непредсказуемыми способами. Это требует более сложных алгоритмов для определения доступности маршрутов;
- Эвристики и оценки: Использование эвристики для определения расстояний становится более сложным, так как нужно учитывать расстояния в трех измерениях.
- Визуализация и отладка: Визуализация и отладка алгоритмов маршрутизации в 3D-

пространстве осложнены, так как необходимо принимать во внимание дополнительные координаты и взаимодействия между ними.

Основными способами решения этих проблем являются использование: воксельных сеток, высотных карт, иерархических графов. Эти подходы обеспечивают оптимальное сочетание производительности и точности, что делает их наиболее актуальными в создании современных трехмерных игровых пространств.

## II. ВОКСЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ

Воксельные структуры представляют собой трёхмерные аналоги пикселей, где каждый воксель (объемный пиксель) представляет собой крошечный куб в пространстве, графически пример отображения вокселя. Они используются для деления 3D-пространства на отдельные единицы, что упрощает его визуализацию и обработку.

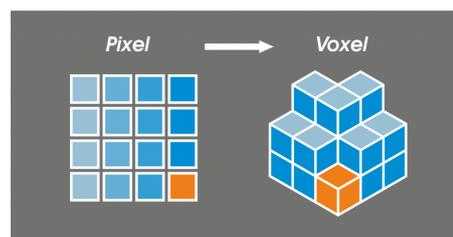


Рис. 1 – Графическое отображение вокселя в сравнении с пикселем

Моделирование игрового 3D-пространства через воксельную структуру — это превосходный метод для реализации графовых алгоритмов поиска пути, особенно в играх с изменяющимся окружением или подверженными разрушению объектами. Изобразить трёхмерное пространство в виде воксельной структуры можно следующим образом:

1. Деление пространства на воксели: Игровое пространство разбивается на воксели, так что каждый воксель имеет координаты в 3D-пространстве  $(x, y, z)$ ;

2. Инициализация массива: создается 3D-массив вокселей, где каждая ячейка содержит информацию о состоянии вокселя (доступный, недоступный, изменяемый и т. д.);
3. Создание связей между вокселями: Каждый воксель связывается с соседними вокселями (всего может быть до 26 соседей в 3D-пространстве). Эти связи будут представлять собой графовые рёбра;
4. Использование графовых алгоритмов: В большинстве случаев применяются весовые алгоритмы поиска пути, так как учитывается, что каждый воксель может иметь свои собственные веса переходов, зависящие от сложности прохождения или типов поверхностей;
5. Динамические обновления: Воксельная структура прекрасно подходит для игр с изменяющимся окружением. При изменении состояния вокселя (например, разрушение стены или появление препятствия), обновляется информация о состоянии вокселя и его связях.

Воксельные сетки предъявляют высокие требования к памяти и вычислительным ресурсам, но обладают способностью точно моделировать сложные структуры и идеально подходят для работы с динамическими и разрушаемыми объектами. Эти сетки требуют применения алгоритмов сжатия и оптимизации памяти, а также могут использовать техники LOD для вокселей и хорошо согласуются с GPU для ускорения вычислений. Использование воксельных сеток целесообразно в играх с разрушающимися или изменяющимися средами, где необходима высокая детализация и точное изображение мира, а также в играх с многоуровневыми и сложными 3D-структурами.

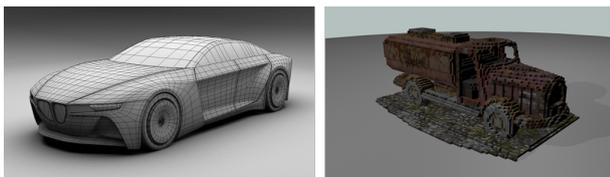


Рис. 2 – Различия в детализации объектов при использовании вокселей и пикселей

Так же применение воксельной структуры в игровом мире накладывает определенные сложности при создании трехмерных моделей. Для достижения высокой детализации объектов требуется большее количество вокселей по сравнению с пикселями, пример сравнения приведен на рисунке 2. Это связано с тем, что воксели являются объемными элементами, и каждый из них должен учитывать детали в трех измерениях, что увеличивает объем данных и сложность обработки. Кроме того, это требует большей вычислительной мощности и памяти для рендеринга и хранения воксельных моделей, а также оптимизации для обеспечения плавности игрового процесса. Поэтому разработчики должны тщательно

балансировать между необходимой детализацией и доступными ресурсами.

Использование воксельных структур представляет гибкий и эффективный способ управления движением персонажей и объектов в трехмерном пространстве, особенно в условиях сложных и динамично изменяющихся игровых миров. Тем не менее, данное решение связано с рядом ограничений. Прежде всего, для достижения высокой степени детализации требуется значительное количество вокселей, что вызывает увеличение объема данных и потребность в больших вычислительных ресурсах. Во-вторых, рендеринг и обработка воксельных моделей могут быть более сложными и медленными по сравнению с традиционными методами. В-третьих, высокие требования к памяти и производительности могут ограничить возможности для сложных и обширных сцен, заставляя разработчиков оптимизировать и находить компромиссы между детализацией и производительностью. Кроме того, создание и обновление воксельных структур требует значительных усилий, особенно в случае динамических изменений или разрушения объектов. Эти ограничения требуют тщательного планирования и балансировки при проектировании игровых миров.

### III. ВЫСОТНЫЕ КАРТЫ

Высотные карты просты в реализации и управлении. Они легко генерируются и обновляются, требуя при этом меньше памяти и вычислительных мощностей. Эти карты отлично подходят для создания статичных и плавных ландшафтов, особенно в обширных открытых пространствах, таких как равнины, горные цепи и холмистые местности. Высотные карты эффективно применяются в играх на больших открытых территориях, когда требуется высокая производительность и экономия памяти, а вертикальные структуры не являются основными элементами игрового мира.

Высотные карты – это двумерные представления трёхмерного рельефа поверхности, где каждое значение пикселя соответствует высоте. Они активно используются для моделирования ландшафтов и картографических задач, а также в играх для упрощения работы с трёхмерными мирами.

В игровом 3D-пространстве высотный граф (или граф высот) позволяет учитывать вертикальные аспекты мира, что особенно полезно в играх с многоуровневыми локациями, такими как горные местности, здания с этажами или подземелья, пример высотной карты показан на рисунке 3. Для создания высотного графа из трёхмерного игрового пространства необходимо:

1. Деление на уровни высоты: Игровое пространство делится на "уровни высоты". Каждый уровень станет узлом графа. На-

- пример, в горных местностях это могут быть разные высоты горы, в здании - этажи;
2. Связи между уровнями: Создаются рёбра (связи) между уровнями высоты. Это могут быть лестницы, лифты, тропы или любые другие средства перемещения между уровнями;
  3. Верхние и нижние уровни: Верхние узлы будут ассоциированы с нижними узлами, создавая вертикальные пути. Например, на горе это может быть подъем и спуск по тропе, а в здании - использование лестницы между этажами;
  4. Учет расстояния и времени: При создании графа принимается во внимание расстояние и время, необходимое для перемещения между уровнями высоты. Это позволит алгоритмам поиска пути учитывать не только горизонтальные, но и вертикальные перемещения.

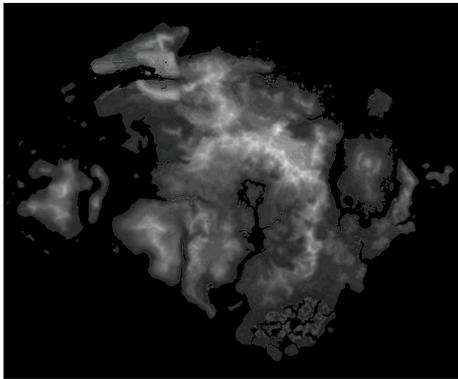


Рис. 3 – Пример высотной карты

Карты высот легко реализуются и контролируются. Их просто создавать и обновлять, занимая при этом меньше памяти и вычислительных ресурсов. Эти карты прекрасно подходят для формирования статичных и плавных ландшафтов, особенно в обширных открытых пространствах, таких как равнины, горные хребты и холмистые местности. Высотные карты эффективно используются в играх с большими открытыми территориями, когда важно высокое качество выполнения и экономия памяти, а вертикальные конструкции не являются главными элементами игрового мира.

Применяя высотный граф, можно использовать графовые алгоритмы поиска пути, такие как  $A^*$ , для нахождения оптимальных маршрутов с учетом высоты. Этот подход существенно упрощает нахождение пути в сложных и многоуровневых 3D-пространствах.

Тем не менее, у данного метода есть и свои недостатки. Во-первых, высотные графы могут быть ограничены в своих возможностях представления подземелий и многоуровневых строений, таких как здания с несколькими этажами. Это может привести к необходимости использования дополнительных структур данных для полной мо-

дели игрового мира. Во-вторых, сложные вертикальные структуры, такие как мосты или навесы, сложно реализовать с помощью высотных карт, что может ограничить архитектурную гибкость и реализм игры. Наконец, обновление высотных карт в реальном времени может потребовать значительных вычислительных ресурсов, что может сказаться на производительности, особенно в играх с динамически меняющимся окружением.

#### IV. ИЕРАРХИЧЕСКИЙ ГРАФ

Иерархические графы – это структура данных, состоящая из узлов и рёбер, где узлы могут иметь вложенные подузлы, создавая иерархическую организацию. В игровом 3D-пространстве эта структура часто используется для управления сложными сценами и взаимодействиями объектов.

В игровом 3D-пространстве иерархические графы можно эффективно применять для поиска пути, создавая более управляемую и логичную структуру. Простейший игровой мир можно представить в виде иерархического графа следующим образом:

1. Вершина верхнего уровня: Главный узел представляет весь игровой мир;
2. Подуровни: Игровой мир разбивается на значимые зоны, такие как города, леса и горы. Каждая зона становится дочерним узлом главного узла;
3. Подзоны: Каждый город может делиться на кварталы, лес – на участки, а горы – на тропы. Эти подзоны станут дочерними узлами зон;
4. Конечные узлы: внутри каждого участка возможно создание узлов для конкретных объектов и мест. Например, здания в городе, деревья в лесу или пещеры в горах.

Когда игровой мир представлен иерархической структурой графа, разработчики могут более эффективно использовать различные алгоритмы поиска пути, такие как  $A^*$ , Dijkstra или поиск в глубину. Локальные пути внутри одной подзоны обрабатываются быстро и эффективно, так как алгоритмы могут сосредоточиться на меньших областях. Для перемещения между зонами и подзонами используются обобщенные пути, что снижает вычислительную нагрузку и упрощает управление сложностью поиска пути. Это делает процесс более контролируемым и эффективным даже в больших и сложных игровых мирах. Иерархическая структура графа значительно упрощает навигацию, позволяя эффективно находить оптимальные маршруты и обеспечивать плавный игровой процесс.

Иерархические графы сложны в реализации и поддержке, требуя детальной проработки структуры сцены, но они более эффективны в управлении многоуровневыми сценами. Эти графы повышают производительность благодаря декомпо-

зиции задач и упрощают обновление и контроль объектов сцены. Иерархические графы также могут использоваться в сочетании с LOD (уровень детализации). Их целесообразно применять в играх с множеством взаимодействующих объектов, в сценах со сложными анимациями и зависимостями, а также в ситуациях, когда требуется управляемость и модульность сцены.

## V. КОМБИНАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ

Помимо прочего, данные методы можно комбинировать. Комбинирование воксельных сеток, иерархических графов и высотных карт может значительно улучшить производительность и гибкость графовых алгоритмов поиска пути, а также позволяет максимально использовать уникальные преимущества каждого отдельного метода. Реализовать комбинации можно следующими способами:

1. Воксельные сетки и высотные карты: В игровых приложениях с изменяемыми ландшафтами и разрушаемыми объектами можно использовать воксельные сетки для моделирования подземных областей и разрушаемых стен, в то время как высотные карты используются для создания плавных поверхностей на поверхности;
2. Воксельные сетки и иерархические графы: В игровых приложениях с многоуровневыми локациями, такими как многоэтажные здания или большие подземелья, можно использовать воксельные сетки для детального представления каждого уровня, а иерархические графы для управления переходами между уровнями. Это позволяет быстро обрабатывать локальные пути внутри уровня и эффективно рассчитывать глобальные пути между уровнями;
3. Иерархические графы и высотные карты: В игровых приложениях жанров стратегия или RPG, где карта имеет сложную вертикальную структуру, высотные карты могут использоваться для определения рельефа и высотных изменений, а иерархические графы для управления переходами между различными зонами. Это облегчает поиск пути

на глобальном уровне, учитывая все высотные изменения и переходы;

4. Комбинирование всех трех методов: В сложном игровом приложении с обширными мирами, можно использовать высотные карты для поверхностных ландшафтов, воксельные сетки для подземных уровней и разрушаемых объектов, а иерархические графы для управления переходами между различными зонами и уровнями. Этот подход позволяет объединить преимущества каждого метода, улучшая производительность и обеспечивая более реалистичное и интерактивное игровое пространство.

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Специфика использования алгоритмов поиска путей в графах при создании трёхмерных игровых вселенных акцентирует внимание на значимости выбора подходящей структуры данных и методов оптимизации для формирования правдоподобного и увлекательного игрового опыта. Высотные карты, иерархические графы и воксельные сетки предоставляют разработчикам множество инструментов для решения задач, связанных с управлением сложными и изменяющимися сценами. Каждый подход обладает своими уникальными плюсами и минусами, и их эффективное применение зависит от конкретных требований игры. Оптимизация и грамотное использование этих методов обеспечивают повышенную производительность, экономию ресурсов и создание более привлекательных и интерактивных игровых миров. В конечном счёте, использование графовых алгоритмов поиска путей позволяет разработчикам создавать глубоко проработанные и захватывающие трёхмерные игровые окружения.

1. Bagus, A. A. Graph Theory by The A\* Algorithm for Pathfinding in Electronic Games / A. A. Bagus, A. A. Fasya //University of Jember
2. Barnouti, N. H. Pathfinding in Strategy Games and Maze Solving Using A\* Search Algorithm /N. H. Barnouti, S. S. Mahmood //Al-Mansour University College
3. Rafiq, A. Pathfinding Algorithms in Game Development /A. Rafiq, T. A. Abdul Kadir, S. N. Ihsan //College of Computing and Applied Sciences Universiti Malaysia Pahang

# МЕТОД БЫСТРОГО ОТСЕЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ В ОТЛОЖЕННОМ ЗАТЕНЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БУФЕРА ВИДИМОСТИ

Сагун И. Ю., Красковский П. Н.

Кафедра информатики, кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: vanysakun@gmail.com

*В данной работе рассматривается метод трёхмерного отсечения треугольников, позволяющий минимизировать выделение памяти на хранение результатов отсечения, а также ускорить визуализацию трёхмерных сцен за счёт снижения времени работы с оперативной памятью.*

## ВВЕДЕНИЕ

Отсечение – это метод в компьютерной графике, при котором визуализируется только та часть сцены, которая попала в поле зрения камеры. Объём трёхмерного пространства, который видит камера, имеет форму усечённой пирамиды (см. рис. 1). Всё, что находится вне видимого объёма, не рисуется. Если объект не полностью попадает в поле зрения камеры, то та его часть, которая расположена вне усечённой пирамиды, отсекается и не отображается.



Рис. 1 – Поле зрения камеры

Несмотря на то, что усечённая пирамида имеет всего шесть плоскостей, целесообразно выполнять трёхмерное отсечение только ближней плоскостью пирамиды, т. к. операция отсечения достаточно ресурсоёмкая. Отсечение остальными плоскостями можно выполнить в двумерном пространстве экрана во время растеризации.

Отсечение ближней плоскостью является критически важной операцией, поскольку попытка спроецировать и отобразить объекты, расположенные позади камеры, может привести к ошибкам и некорректному результату.

## I. АЛГОРИТМ ОТСЕЧЕНИЯ

В качестве алгоритма отсечения треугольников был выбран алгоритм Сазерленда-Ходжмана. Отсечение производится в однородных координатах в пространстве отсечения (clip space).

Алгоритм начинается с обхода всех рёбер треугольника, в ходе которого определяется поло-

жение вершин ребра относительно секущей плоскости. В пространстве отсечения ближняя плоскость имеет координату  $Z = 0$ , поэтому у каждой вершины необходимо проверить её координату  $Z$ . Если  $Z \geq 0$  – вершина находится перед ближней плоскостью, если  $Z < 0$  – позади неё. Существует четыре варианта расположения ребра относительно ближней плоскости:

1. У обеих вершин  $Z \geq 0$ . В результат записывается только первая вершина.
2. Первая вершина имеет  $Z \geq 0$ , а вторая –  $Z < 0$ . В результат записывается первая вершина и точка пересечения ребра с секущей плоскостью.
3. Первая вершина имеет  $Z < 0$ , а вторая –  $Z \geq 0$ . В результат записывается только точка пересечения ребра с секущей плоскостью.
4. У обеих вершин  $Z < 0$ . В результат ничего не записывается.

Чтобы найти точку пересечения, необходимо выполнить линейную интерполяцию между двумя вершинами ребра. Поскольку вершина, лежащая на ближней плоскости, имеет координату  $Z = 0$ , коэффициент интерполяции вычисляется по формуле:  $(0 - Z_1)/(Z_2 - Z_1)$ .

## II. ПРОБЛЕМА ОТСЕЧЕНИЯ

Результатом отсечения становится появление в сцене новых треугольников, которых не было изначально. Например, если перед ближней плоскостью находилась только одна из вершин треугольника, то на сцене появляется два новых треугольника (см. рис. 2).

Одним из вариантов является сохранение новых полученных треугольников в новый буфер, что приводит к дополнительным расходам памяти. Кроме того, необходимо вычислить и сохранить атрибуты вершин новых треугольников, что приводит не только к дополнительному расходу памяти, но и к снижению производительности.

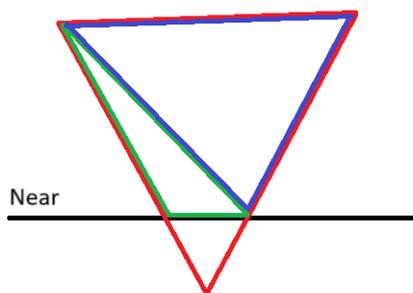


Рис. 2 – Результат отсечения: красным цветом обозначен изначальный треугольник, синим и зеленым – новые треугольники, полученные в результате отсечения

Вторым вариантом является локальное сохранение результатов отсечения, а затем немедленная растеризация новых полученных треугольников, при этом в буфер видимости [1] записывается индекс изначального треугольника. Такой подход позволяет экономить память, однако возникает проблема интерполяции атрибутов вершин в экранных координатах, поскольку экранные координаты вершин новых треугольников будут недоступны на этапе вычисления освещения и вычислить барицентрические координаты будет невозможно.

### III. ИНТЕРПОЛЯЦИЯ АТТРИБУТОВ ВЕРШИН

Для решения проблемы интерполяции атрибутов вершин можно воспользоваться алгоритмом Моллера-Трумбора, который используется при реализации трассировки лучей.

Вычисление атрибутов выполняется по следующему алгоритму:

1. Координаты фрагмента изображения преобразуются из экранных координат в мировые.
2. Из камеры в сторону видимого в данном фрагменте треугольника выпускается луч, проходящий через мировую точку данного фрагмента.
3. По алгоритму Моллера-Трумбора вычисляются барицентрические координаты точки пересечения луча с необходимым треугольником.
4. С помощью полученных барицентрических координат выполняется интерполяция атрибутов вершин исходного треугольника.

Так же по описанному выше алгоритму вычисляются барицентрические координаты соседних фрагментов. Данный шаг необходим для вычисления текстурных координат соседних фрагментов, используемых в алгоритмах фильтрации текстур.

Стоит отметить, что поскольку вычисление барицентрических координат было выполнено в

мировом пространстве, то к интерполированным значениям атрибутов не нужно применять перспективную коррекцию.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы был разработан алгоритм быстрого отсечения ближней плоскостью (см. рис. 3).

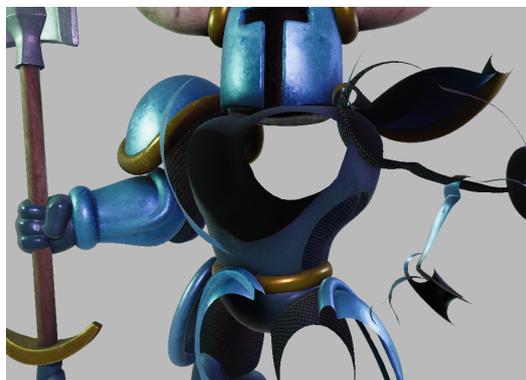


Рис. 3 – Результат работы алгоритма

Полученный алгоритм имеет следующие преимущества:

1. Нет необходимости сохранять полученные в процессе отсечения новые треугольники, а также не требуется вычисление и сохранение их атрибутов вершин, что позволяет экономить память.
2. В качестве оптимизации локального сохранения результатов отсечения на этапе растеризации используется массив из пула массивов.
3. Поскольку заранее известно, какой треугольник виден в текущем фрагменте, вычисление барицентрических координат требует всего три векторных и девять скалярных произведений, поэтому визуализация сцены происходит достаточно быстро.

Результат тестирования производительности алгоритма показал, что скорость полученного алгоритма сравнима со скоростью визуализации, выполненной без отсечения ближней плоскостью и с вычислением барицентрических координат в экранных координатах.

1. Красковский, П. Н. Метод отложенного затенения трехмерных сцен, использующий буфер видимости / Красковский П. Н., Серебряная Л. В. // Информационные технологии и системы 2021 (ИТС 2021) = Information Technologies and Systems 2021 (ITS 2021) : материалы международной научной конференции, Минск, 24 ноября 2021 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2021. – С. 148–149.

# ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРИЕМНОЙ КОМИССИИ ССУЗ

Славинский Г. А., Нестеренков С. Н.

Кафедра информатики, Отдел информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: gr.slavin.sci@mail.ru, s.nesterenkov@bsuir.by

*В данной статье, с помощью методов теории массового обслуживания, определены оптимальные параметры системы обслуживания на примере приемной комиссии, что была рассмотрена как многоканальная система массового обслуживания с неограниченной очередью. От применения результатов исследования ожидается достижение наиболее эффективной работы и минимизация времени ожидания в очереди.*

## ВВЕДЕНИЕ

Теория массового обслуживания – одно из направлений теории вероятностей, объектами ее изучения являются системы и сети массового обслуживания, в качестве которых рассматриваются различные системы, предназначенные для обслуживания массового потока требований случайного характера [1].

Цель методов теории массового обслуживания состоит в определении оптимальной структуры и параметров обслуживающей системы для обеспечения оптимизации процессов и улучшения качества обслуживания.

Существуют сравнительно простые математические модели, позволяющие изучать процессы в разных предметных областях: промышленное производство, сервисные центры, логистика, компьютерные сети, или – вступительная кампания.

Выделенная проблема – необходимость обработать неограниченный поток заявок случайного характера со стороны абитуриентов в приемную комиссию среднего специального учебного заведения, вместе с чем происходит увеличение времени ожидания в очереди.

Исследование посвящено возможности использования данных об интенсивности поступления и интенсивности потока обслуживания заявок, поступающих в приемную комиссию. В статье приемная комиссия рассматривается как многоканальная система массового обслуживания с неограниченной очередью. Целью исследования является определение оптимальных параметров для наиболее эффективной работы комиссии, минимизации времени ожидания.

## I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Под входными параметрами подразумеваются:

- Количество каналов, то есть членов приемной комиссии;
- Интенсивность поступления заявок, то есть количество обращений абитуриентов в единицу времени.

- Интенсивность обслуживания заявок, то есть время на обработку одного обращения, затрачиваемое членом приемной комиссии.

Параметры интенсивности были определены с помощью программного модуля, реализованного в рамках веб-приложения для автоматизации работы приемной комиссии [2].

Для получения интенсивностей, в рамках реляционной базы данных веб-приложения, была реализована дополнительная таблица, включающая в себя следующие поля:

- Абитуриент – внешний ключ, устанавливающий связь с таблицей «Абитуриенты», позволяет идентифицировать заявку;
- Пользователь – внешний ключ, устанавливающий связь с таблицей «Пользователи», позволяет идентифицировать члена приемной комиссии принявшего пакет документов.
- Начало обслуживания – время, когда член приемной комиссии нажал на кнопку «Начать прием документов», что повлекло внесение данных в таблицу.
- Конец обслуживания – время, когда член приемной комиссии зарегистрировал представленные в комиссию документы и завершил процедуру обслуживания заявки, что повлекло за собой обновление данных поля в ранее созданной записи.

В рамках исследования, параметры системы были просчитаны с несколькими возможными вариантами значений количества каналов, начиная от минимально возможного, определенного на основе показателей интенсивности.

## II. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Приемная комиссия, в рамках исследования, рассматривается как многоканальная система массового обслуживания с неограниченной очередью. Формулы, необходимые для расчета оптимальных параметров системы, представлены ниже [1].

Вероятность отсутствия заявок в системе:

### III. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

$$p_0 = \left( 1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \right)^{-1}.$$

Вероятность наличия в системе очереди из заявок, вероятность того, что хотя бы одна заявка находится в очереди и ожидает обслуживания, равна сумме вероятностей всех состояний системы:

$$P_{och} = \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \rho_0.$$

В рассматриваемой модели, ни одна из пришедших в систему заявок не получает отказа в обслуживании. Если все каналы системы заняты, она становится в очередь. Заявка обязательно должна быть обслужена (при условии, что система справляется с потоком заявок,  $\frac{\rho}{n} > 1$ ). Таким образом, вероятность отказа заявке в обслуживании, обозначаемая как  $P_{otk}$ , равна 0.

Из чего следует, что относительная пропускная способность системы, вычисляемая по формуле  $Q = 1 - P_{otk}$ , равна 1.

Абсолютная пропускная способность, равна интенсивности входящего потока заявок:

$$A = \lambda Q = \lambda.$$

Среднее число заявок, находящихся под обслуживанием, равно среднему числу занятых каналов:

$$L_{ob} = \bar{k} = \rho.$$

Вероятность образования очереди:

$$P_{och} = \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \rho_0.$$

Среднее число заявок в очереди:

$$L_{och} = \frac{n}{n-\rho} P_{och}.$$

Среднее число заявок в системе:

$$L_{sist} = L_{ob} + L_{och} = L_{och} + \rho.$$

Время пребывания заявки в очереди:

$$T_{och} = \frac{L_{och}}{\lambda}.$$

Время пребывания заявки в системе:

$$T_{sist} = \frac{L_{sist}}{\lambda}.$$

Относительная величина затрат:

$$C_{otn} = \frac{n}{\lambda} + 3T_{och}.$$

Рассматриваемая система обслуживания имеет следующие входные данные:

- Интенсивность потока заявок – 4 заявки в час.
- Средняя продолжительность обслуживания заявки – 20 минут.

Количество заявок в минуту,  $\lambda = \frac{4}{60} = 0.07$ .

Расчета интенсивности канала производится по формуле  $\rho = \lambda t_{ob}$ , результат  $\rho = 1.3$ , следовательно, минимальное количество каналов для обслуживания потока заявок,  $n_{min} = 2$ .

На основе входных данных и представленной математической модели, были произведены расчеты (таблица 1).

Таблица 1 – Результат расчетов параметров эффективности системы

$n$	2	3	4
$p_0$	0.200	0.254	0.262
$L_{och}$	1.067	0.145	0.026
$T_{och}$	16.000	2.169	0.388
$C_{otn}$	78.000	51.508	61.165

Исходя из расчетов, можно сделать следующие выводы:

- Минимальное количество членов приемной комиссии,  $n_{min} = 2$ .
- Оптимальное количество членов приемной комиссии,  $n_{opt} = 3$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования были определены параметры для оптимальной работы приемной комиссии, что была рассмотрена как многоканальная система массового обслуживания с неограниченной очередью. Ожидается, что формирование комиссии из 3 человек будет оптимальным решением при рассмотренных значениях интенсивности заявок и времени обслуживания.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория массового обслуживания: учебное пособие / М. А. Плескунов; М-во науки и высшего образования РФ, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 264 с.
2. Славинский, Г. А. Веб-приложение для автоматизации работы приемной комиссии учреждения образования / Г. А. Славинский // Информационные системы и технологии: сборник статей 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 17–21 апреля 2023 г. / Институт информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники; редкол.: А.И. Парамонов [и др.]. – Минск, 2023. – С. 48–52.
3. Нестеренков, С. Н. Автоматизированная система для организации образовательного процесса на основе нейронных сетей / С. Н. Нестеренков, Н. В. Юценко, А. Д. Радкевич // Актуальные вопросы профессионального образования : тезисы докладов II Международной научно-практической конференции, Минск, 11 апреля 2019 г. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: С. Н. Анкуда [и др.]. – Минск, 2019. – С. 195–196.

# ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИМЕРЫ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Таранчук В. Б., Баровик Д. В.

Кафедра компьютерных технологий и систем, Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: taranchuk@bsu.by, barovikd@gmail.com

*Выполненные вычислительные эксперименты, предложенные и использованные методы обработки и визуализации результатов позволили выявить, и в докладе будут предметом обсуждения, особенности распространения лесных пожаров при наличии неоднородностей в плотности лесного горючего материала, в частности, когда на площади имитируется наличие полян различных форм и размеров.*

## ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары в ряде регионов происходят с регулярной периодичностью, и при этом часто не подтверждается успешность в их предотвращении и тушении. Согласно данным Института мировых природных ресурсов [1] рост активности лесных пожаров стал особенно заметен в последние годы. Рекордные лесные пожары становятся нормой: 2020, 2021 и 2023 годы станут четвертым, третьим и наихудшим годом для глобальных лесных пожаров соответственно. Так, в 2023 году сгорело почти 12 миллионов гектаров – площадь сравнимая с размером Никарагуа, превысив предыдущий мировой рекорд примерно на 24%. На экстремальные лесные пожары только в Канаде в прошлом году пришлось более четверти (27%) от всех причин потерь древесного покрова в мире.

Актуальны новые технические решения, более эффективные методы организации и управления. Наиболее сложным при этом является этап ликвидации чрезвычайных ситуаций, когда для принятия оптимальных управленческих решений определяющим является наличие достоверных прогнозов распространения фронта горения. В правильных экспертных решениях обязательны учет конкретной обстановки, состава и состояния растительности, рельефа территории, истории и текущих погодных условий, совокупности других факторов. Понятно, что анализировать громадный объем информации в очень сжатые сроки затруднительно без использования информационных технологий, а проигрывать сценарии с оценками разных вариантов действий без моделей развития процессов вовсе невозможно. Выход – использовать созданные, проверенные компьютерные модели.

Разработки математических моделей лесных пожаров начались с середины прошлого века и активно продолжают в настоящее время, текущее состояние, основные публикации, обзоры упомянуты в [2–5]. В обзорах публикаций наряду с определенными достижениями, отмечаются ряд нерешенных вопросов, в частности: недостаточная обоснованность принимаемых в моделях

уравнений и входящих в них коэффициентов для описаний кинетики физико-химических превращений и реакций; сложность выбора адекватных моделей турбулентности в газовой фазе; незначительное число аналитических решений подобных задач, которые обязательны при оценках точности получаемых приближенных решений; отсутствие масштабных натуральных экспериментов, которые можно принять за эталон для верификации моделей. Наблюдается пробел между слишком упрощенными моделями, дающими прогнозы с неприемлемой для достоверных оценок погрешностью, и моделями с большим количеством параметров, расчеты по которым очень продолжительны [6–9].

В большинстве приведенных в литературе компьютерных моделей процесс распространения лесных пожаров описан, анализируется в однородных средах, хотя в реальности однородное распределение лесных горючих материалов (ЛГМ) встречается крайне редко. При этом известно, что многие наблюдаемые эффекты протекания лесных пожаров вызваны именно неоднородностью. Например, ускоренное распространение огня вдоль просек.

В докладе будут приведены результаты вычислительных экспериментов, которые позволили выявить особенности распространения лесных пожаров при наличии неоднородностей в плотности ЛГМ, в частности, когда на площади имитируется наличие полян различных форм и размеров. Отдельно и специально рассмотрены результаты обнаруженных эффектов в распределении цифровых полей температуры, концентраций кислорода и горючих газов, вызванных именно неоднородностями размещения на площади горючей растительности, в том числе с учетом влияния направления и силы ветра [7–9].

## I. О ПРИНЯТОМ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ.

Ввиду ограниченности объема тезисов, но для общего понимания сложности принятого математического описания (двумерное приближение с осреднением по высоте полога леса) и соответ-

ствующей реализованной компьютерной модели эволюции зоны горения ЛГМ на площади, ниже не приводятся уравнения краевой задачи, но отметим, какие параметры, их распределения по площади и эволюция (динамика по времени) определяются: температура лесного массива (сплошной многофазной реагирующей среды); объемные доли компонент ЛГМ (сухого органического вещества, содержащейся в древесине и растительности воды, коксика, золы, негорючей минеральной части); массовые концентрации компонентов газовой фазы (кислород, горючие газы, водяной пар, углекислый газ, инертные компоненты воздушной смеси и продуктов реакций пиролиза и горения). В решаемой начально-краевой задаче перечисленные величины являются определяемыми функциями модели, они зависят от времени и координат, связаны нелинейными дифференциальными уравнениями сохранения, химических реакций; в коэффициентах уравнений учитываются зависимости от температуры, концентраций, координат ([5 – 10]).

## II. О ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АСПЕКТАХ РЕАЛИЗОВАННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ.

Система дифференциальных уравнений модели решается численно. Применяются явные разностные схемы с равномерной сеткой по пространству и переменным временным шагом по времени. Текущие значения временного шага в расчетах уточняются из условий устойчивости численной схемы с учетом динамики фронта и скоростей протекания физико-химических процессов ([6, 7]). Вычислительные эксперименты реализованы в многофункциональном интерактивном программном комплексе, разработанном на языке Wolfram Language в системе компьютерной алгебры Mathematica. Соответствующие методические и технические решения поясняются отдельно. Необходимость адаптации хода вычислений (включая пространственную сетку, временной шаг) обусловлена длительностью расчетов каждого конкретного варианта, а “вмешательство” анализирующего промежуточные результаты специалиста, его выполняемые специально разработанными средствами уточнения числа расчетных узлов позволяют сократить ненужные пересчеты на отдельных участках.

Важными моментами организации вычислений являются: включенные в комплекс специальные средства протоколирования результатов; инструменты “ручной” коррекции параметров расчетной сетки; возможности пересчета для любого временного интервала на другой пространственной сетке; используемый дополнительный инструментарий, обеспечивающий интеллектуальный анализ и когнитивную интерактивную графическую визуализацию получаемых решений ([8 – 11]).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выступления предполагается демонстрация результатов расчетов развития лесного пожара при наличии в лесном массиве полян и водных преград различных форм, размеров и расположения, а также с учетом различной скорости и направления ветра (в том числе интерпретация результатов с применением инструментов интеллектуального анализа данных системы Wolfram Mathematica).

## III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. MacCarthy, J. [et al]. The Latest Data Confirms: Forest Fires Are Getting Worse / J. MacCarthy, J. Richter, S. Tyukavina [et al] // [Electronic resource]. World Resource Institute. Published: 27.06.2024. <https://www.wri.org/insights/global-trends-forest-fires>
2. Pastor, E. [et al] Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behaviour / E. Pastor [et al] // Progress in Energy and Combustion Science. – 2003. – Vol. 29. – P. 139–153.
3. Sullivan, A. L. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 2: empirical and quasi-empirical models / A. L. Sullivan // International Journal of Wildland Fire. – 2009. – N 18 (4). – P. 369–386. DOI: 10.1071/WF06142 – arXiv:0706.4128
4. Sullivan, A. L. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 3: simulation and mathematical analogue models / A. L. Sullivan // International Journal of Wildland Fire. – 2009. – N 18 (4). – P. 387–403. DOI: 10.1071/WF06144 – arXiv:0706.4130
5. Баровик, Д. В. Состояние проблемы и результаты компьютерного прогнозирования распространения лесных пожаров / Д. В. Баровик, В. Б. Таранчук // Вестник БГУ. Серия 1, Физика, Математика, Информатика. – 2011. – № 3. – С. 78–84.
6. Barovik, D. V. Mathematical modelling of running crown forest fires / D. V. Barovik, V. B. Taranchuk // Mathematical Modelling and Analysis. – 2010. – Vol. 15, № 2. – P. 161–174.
7. Баровик, Д. В. К обоснованию математических моделей низовых лесных пожаров / Д. В. Баровик, В. И. Корзюк, В. Б. Таранчук // Тр. Ин-та матем. – 2013. – 21:1. – С. 3–14.
8. Баровик, Д. В. Компьютерная модель, примеры анализа влияния ландшафтно-метеорологических факторов на динамику низовых лесных пожаров / Д. В. Баровик, В. Б. Таранчук // Экономика. Информатика. – 2020. – № 3. – Т. 47. – С. 610–622. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-3-610-622
9. Barovik, D. Tools for the analysis and visualisation of distributions and vector fields in surface forest fires modelling / D. V. Barovik, V. B. Taranchuk // Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics. – 2. – 2022. – P. 82–93. (in Engl.)
10. Barovik, D. Surface Forest Fires Modelling: Temperature and Oxygen Dynamics near Fuelbreaks / D. Barovik, V. Taranchuk // Baltic J. Modern Computing. – 2023. – Vol. 11, No. 2. – P. 226–240. DOI: 10.22364/bjmc.2023.11.2.01
11. Taranchuk, V. B. Examples of Integration of Intelligent Computing Modules and the System GeoBazaDannych / V. B. Taranchuk // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2024); ed.: V. V. Golenkov [et al.]. – Minsk, 2024. – Iss. 8. – С. 189–194.

# АНАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕШЕНИЙ ДВУХ СЕМЕЙСТВ ТРЕХМЕРНЫХ КОНСЕРВАТИВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЯТИЭЛЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ С ОДНОЙ КВАДРАТИЧНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ

Цегельник В. В.  
Кафедра высшей математики,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: tsegvv@bsuir.by

*Исследован характер возможных подвижных особых точек решений двух семейств трехмерных консервативных динамических пятиэлементных систем с одной квадратичной нелинейностью.*

## ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] выполнено качественное исследование решений одного класса трехмерных консервативных динамических пятиэлементных систем с одной квадратичной нелинейностью. Численное моделирование показало, что только одна динамическая система данного класса с пятью элементами в правой части является хаотической.

### I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью настоящей работы является исследование характера подвижных точек (т. е. точек, положение которых зависит от начальных условий) решений систем двух семейств трехмерных динамических систем [1]

$$\dot{x} = y^2 + Ax + z, \dot{y} = x, \dot{z} = \varepsilon z. \quad (1.1)$$

$$\dot{x} = Ax + y + z, \dot{y} = x^2, \dot{z} = \varepsilon z. \quad (1.2)$$

$$\dot{x} = y^2 + Ax, \dot{y} = x + z, \dot{z} = \varepsilon z. \quad (1.3)$$

$$\dot{x} = y^2 + \varepsilon x, \dot{y} = Ay + z, \dot{z} = x. \quad (1.4)$$

$$\dot{x} = y^2 + z, \dot{y} = x + Ay, \dot{z} = \varepsilon z. \quad (1.5)$$

$$\dot{x} = yz + Ax, \dot{y} = x + \varepsilon y, \dot{z} = y. \quad (1.6)$$

$$\dot{x} = yz + Ax, \dot{y} = \varepsilon y + z, \dot{z} = x. \quad (1.7)$$

$$\dot{x} = \varepsilon x + y, \dot{y} = Ay + z, \dot{z} = x^2. \quad (1.8)$$

$$\dot{x} = \varepsilon x + y, \dot{y} = Ay + z, \dot{z} = xy. \quad (1.9)$$

$$\dot{x} = \varepsilon x + z, \dot{y} = Ay + z, \dot{z} = xy \quad (1.10)$$

и

$$\dot{x} = yz + Az, \dot{y} = x + \varepsilon z, \dot{z} = x. \quad (2.1)$$

$$\dot{x} = Ay^2 + y + 1, \dot{y} = \varepsilon z, \dot{z} = x. \quad (2.2)$$

$$\dot{x} = y^2 + \varepsilon z + A, \dot{y} = x, \dot{z} = y. \quad (2.3)$$

$$\dot{x} = yz + \varepsilon y + A, \dot{y} = x, \dot{z} = y. \quad (2.4)$$

$$\dot{x} = yz + \varepsilon y, \dot{y} = x + A, \dot{z} = x. \quad (2.5)$$

$$\dot{x} = yz + \varepsilon y, \dot{y} = z + A, \dot{z} = x. \quad (2.6)$$

$$\dot{x} = z^2 + \varepsilon y, \dot{y} = x + A, \dot{z} = y. \quad (2.7)$$

$$\dot{x} = y^2, \dot{y} = x + \varepsilon z + A, \dot{z} = x. \quad (2.8)$$

$$\dot{x} = z^2, \dot{y} = x + \varepsilon z + A, \dot{z} = y \quad (2.9)$$

с произвольным параметром  $A \neq 0$  и  $\varepsilon^2 = 1$ . Характерной особенностью систем семейства (1.1)–(1.10) является то, что каждая из них является консервативной при  $A = -\varepsilon$ .

Теорема. Каждая из систем (2.1)–(2.9) эквивалентна трехмерной консервативной динамической системе с четырьмя элементами в правой части.

Действительно, система (2.1) заменой  $y + A = u$  сводится к системе

$$\dot{x} = zu, \dot{u} = x + \varepsilon z, \dot{z} = x. \quad (3.1)$$

Аналогично, система (2.2) преобразованием  $y = u + \alpha$ , где  $A\alpha^2 + \alpha + 1 = 0$ , преобразуется в систему

$$\dot{x} = Au^2 + (2\alpha A + 1)u, \dot{u} = \varepsilon z, \dot{z} = x. \quad (3.2)$$

Более того, система (2.2) при  $A = \frac{1}{4}$  принимает вид  $\dot{x} = \frac{1}{4}(y + 2)^2, \dot{y} = \varepsilon z, \dot{z} = x$  и подстановкой

$y + 2 = v$  сводится к системе с тремя слагаемыми в правой части

$$\dot{x} = \frac{1}{4}v^2, \dot{v} = \varepsilon z, \dot{z} = x. \quad (3.3)$$

Полагая в (2.3)  $\varepsilon z + A = u$  получим систему

$$\dot{x} = y^2 + u, \dot{y} = x, \dot{u} = \varepsilon y. \quad (3.4)$$

Заменой  $z + \varepsilon = u$  система (2.4) сводится к системе

$$\dot{x} = yu + A, \dot{y} = x, \dot{u} = y. \quad (3.5)$$

Такая же подстановка преобразует систему (2.5) в систему

$$\dot{x} = yu, \dot{y} = x + A, \dot{u} = x. \quad (3.6)$$

Аналогично, система (2.6) заменой  $z + \varepsilon = u$  сводится к системе

$$\dot{x} = yu, \dot{y} = u + A - \varepsilon, \dot{u} = x. \quad (3.7)$$

Преобразованием  $u = x + A$  от системы (2.7) перейдем к системе

$$\dot{u} = z^2 + \varepsilon y, \dot{y} = u, \dot{z} = y. \quad (3.8)$$

Система (2.8) заменой  $\varepsilon z + A = u$  сводится к системе

$$\dot{x} = y^2, \dot{y} = x + u, \dot{u} = x\varepsilon. \quad (3.9)$$

От системы (2.9) преобразованием  $x + A = u$  перейдем к системе

$$\dot{u} = z^2, \dot{y} = u + \varepsilon z, \dot{z} = y. \quad (3.10)$$

Замечание. Консервативная пятиэлементная система [1]

$$\dot{x} = y^2 + A, \dot{y} = \varepsilon z, \dot{z} = x + B, \quad (3.11)$$

где  $B$  – произвольный параметр, заменой  $x + B = u$  также сводится к четырехэлементной системе

$$\dot{u} = y^2 + A, \dot{y} = \varepsilon z, \dot{z} = u. \quad (3.12)$$

## II. АЛГОРИТМ

Для решения поставленной задачи (в предположении, что неизвестные функции  $x, y, z$  являются функциями комплексной переменной  $t$ ) использован тест Пенлеве [2], представляющий набор условий, необходимых для отсутствия у общего решения системы дифференциальных уравнений подвижных критических особых точек (свойство Пенлеве).

Для анализа решений систем (1.1)–(1.10), (2.1)–(2.9), (3.11) использован также подход, заключающийся в замене каждой из них эквивалентным уравнением третьего или второго порядка и сравнением его с известными уравнениями Пенлеве-типа.

## Выводы

Теорема 1. Ни одна из систем (1.1)–(1.9) не является системой Пенлеве-типа, хотя компонента  $z$  в системах (1.1)–(1.3), (1.5) вообще не имеет подвижных точек особых точек.

Доказательство данного факта следует из того, что системы (1.1)–(1.3), (1.5) сводятся к неавтономным уравнениям второго порядка, каждое из которых не является согласно [3] уравнением Пенлеве-типа. Системы уравнений (1.4), (1.6)–(1.9) эквивалентны автономным уравнениям [1] третьего порядка вида  $\ddot{u} = P(u, \dot{u}, \ddot{u})$ , где  $P$  – полином относительно  $u, \dot{u}, \ddot{u}$  с постоянными коэффициентами. Общее решение ни одного из таких уравнений согласно [4] не свободно от подвижных критических особых точек.

Теорема 2. Система (1.10) не проходит тест Пенлеве [2].

Теорема 3. Система (2.4) и (2.6) (при  $A = \varepsilon$ ) являются системами Пенлеве-типа.

Действительно, система (3.7), которой эквивалентна система (2.4), при  $A = \varepsilon$  имеет первый интеграл  $\dot{y} = \frac{y^2}{2} + C_1$ , где  $C_1$  – произвольная постоянная. Откуда

$$\dot{y}^2 = \frac{1}{3}y^3 + 2C_1y + 2C_2, \quad (4.1)$$

где  $C_2$  – произвольная постоянная. Уравнение (4.1) интегрируется [3] в эллиптических функциях. Далее, система (3.5) эквивалентна системе (2.4) и она имеет первый интеграл  $x = \frac{u^2}{2} + At + C_1$ , где  $C_1$  – произвольная постоянная. Уравнение, определяющее функцию  $u$ , имеет вид  $\ddot{u} = \frac{u^2}{2} + At + C_1$ . Преобразованием  $u = \lambda w, t = \mu \tau$  последнее уравнение сводится к первому уравнению Пенлеве [3]

$$\frac{d^2w}{d\tau^2} = 6w^2 + \tau,$$

общее решение которого не содержит подвижных критических особых точек.

Теорема 4. Системы (2.1), (2.8) не проходят тест Пенлеве. Системы (2.2), (2.3), (2.5), (2.6) (при  $A \neq \varepsilon$ ), (2.7), (2.9), (3.11) не являются системами Пенлеве-типа.

1. Heidel, J. Nonchaotic and chaotic behavior in three – dimensional quadratic systems: five –one conservative cases / J. Heidel, Fu Zhang // Inter. Journal of Bif. and Chaos. – 2007. – Vol. 17, N 6. – P. 2049–2072.
2. Грицук, Е. В. К теории нелинейных систем дифференциальных уравнений со свойством Пенлеве / Е. В. Грицук, В. И. Громач // Весці НАН Беларусі. Серыя фіз. – мат. навук. – 2010. – № 3. – С. 25–30.
3. Айнс, Э. Л. Обыкновенные дифференциальные уравнения / Э. Л. Айнс // Харьков: ОНТИ, 1939. – 720 с.
4. Cosgrove, C. M. Chazy classes IX –XI of third –order differential equations / C. M. Cosgrove // Stud. Appl. Math. – 2001. – Vol. 104, N 3. – P. 171–228.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В ИНТЕРЕСАХ РАСПОЗНАВАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ПТИЦ

Храменков А. С., Чигряй В. Г.  
Военная академия Республики Беларусь  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: xras.tech@gmail.ru, chigriay.vasil@yandex.by

*В докладе представлены результаты оценивания диапазонов возможных значений ЭОП малоразмерных беспилотных летательных аппаратов и птиц на частотах 3, 9,3 12 и 34 ГГц для линейной горизонтальной и вертикальной поляризации. Исследования ЭОП проводились методом электродинамического моделирования в САПР CST STUDIO SUITE 2019.*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается тенденция повышения популярности и широкого применения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (МБЛА) в гражданской сфере. Многие из них приобретаются в любительских целях, другие используются в коммерческих целях, таких как аэрофотосъемка и геодезия. Следует отметить, что в зонах боевых действий коммерчески доступные МБЛА могут использоваться в военных интересах. Схожесть сигнатур МБЛА и птиц создает значительные трудности при ведении радиолокационного контроля полетов [1].

Решение задачи радиолокационного распознавания с использованием мощностных радиолокационных портретов (РЛП) предполагает оценивание эффективной отражающей поверхности (ЭОП) цели. В рамках научных исследований проводился анализ статической ЭОП МБЛА трех типов и птиц в зависимости от их ориентации относительно радиолокатора. Численные значения ЭОП были получены путем электродинамического моделирования в CST STUDIO SUITE 2019 компании CST (Германия) для частот 3, 9,3 12 и 34 ГГц на линейной горизонтальной и вертикальной поляризациях относительно строительной оси МБЛА и продольной оси птиц [2].

## I. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки возможности применения признака ЭОП в интересах распознавания была проведена оценка степени перекрытия значений ЭОП применительно к различным распознаваемым классам. На основании результатов, полученных путем электродинамического моделирования, были оценены диапазоны значений ЭОП МБЛА и птиц.

На рисунке 1 приведены диапазоны возможных значений ЭОП МБЛА 3 типов (квадрокоптеры, самолетного типа, летающее крыло) и птиц на 4 частотах зондирующего сигнала (ЗС).

Анализ возможных значений ЭОП классов МБЛА и птиц показал, что на частоте 3 ГГц наблюдается повышение значений ЭОП МБЛА

«самолетного типа» и типа «летающее крыло». Это обусловлено соотношением линейного размера цели  $l$  к длине волны близким к  $l/\lambda \approx 1$ , что соответствует резонансной области [3]. При этом ЭОП квадрокоптеров и птиц определяется рэлеевской областью ( $l/\lambda \ll 1$ ) и характеризуется более низкими значениями [3]. На частоте ЗС 3 ГГц распознавание МБЛА и птиц будет наиболее эффективно для МБЛА, имеющих линейные размеры порядка нескольких метров, вследствие перехода в резонансную область [3]. Из результатов орнитологических исследований, было отмечено, что резонансный всплеск ЭОП птиц наблюдается на частоте 5 ГГц [4].

На частотах 9,3 ГГц и 12 ГГц резонансный характер изменения ЭОП наблюдается у классов «квадрокоптер» и «птицы». Следует отметить, что диапазоны значений ЭОП всех классов значительно перекрываются и не имеют ярко выраженных отличий. Использование частоты 34 ГГц показало, что численное значение ЭОП уменьшается, поскольку отношение соответствует оптической области, что численное значение ЭОП уменьшается, поскольку отношение  $l/\lambda \gg 1$  соответствует оптической области также негативно отражается на решении задачи обнаружения и распознавания по мощностным отличиям [3]. На основании анализа диапазонов возможных значений ЭОП МБЛА и птиц на частоте ЗС 34 ГГц можно сделать вывод, что распознавание МБЛА и птиц будет иметь низкую вероятность, поскольку диапазоны значений ЭОП существенно перекрываются. Таким образом, решение задачи радиолокационного распознавания МБЛА и птиц по мощностному РЛП малоэффективно и возможно в ограниченных условиях, что подтверждается аналогичными исследованиями зарубежных ученых [5].

## II. ВЫВОДЫ

В докладе представлены результаты анализа статической эффективной отражающей поверхности МБЛА и птиц в зависимости от их ориентации относительно радиолокатора. Исследования

ЭОП проводились методом электродинамического моделирования в САПР CST STUDIO SUITE 2019.

На основании полученных результатов были оценены диапазоны возможных значений ЭОП МБЛА и птиц. Оценка диапазонов показала, что на частотах зондирующего сигнала 9,3 ГГц и 12 ГГц резонансный характер изменения ЭОП наблюдается у классов «квадрокоптер» и «птицы», а на 3 ГГц всплеск значений ЭОП характерен для классов «самолетного типа» и «летающее крыло». Установлено, что использование мощностного РЛП малоэффективно и возможно в ограниченных условиях. Однако, использование оценок ЭОП целесообразно в качестве дополнительного отличительного признака для повышения эффективности решения задачи распознавания.

### III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карякин, В. В. Беспилотные летательные аппараты – новая реальность войны / В. В. Карякин // Проблемы национальной стратегии. – 2015. – № 3 (30). – С. 130–145.
2. Курушин, А. А. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio / А. А. Курушин, А. Н. Пластиков. – Москва: Издательство МЭИ, 2011. – 155 с.
3. Радиолокационные системы: учебное пособие, издание 2-е, под ред. А. И. Николаева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 349 с.
4. Ганя, И. М. Радиолокационная орнитология / И. М. Ганя, И. Н. Зубков, М. И. Котяцы. – Кишинев: Штиинца, 1993. – 220 с.
5. Interference of Radar Detection of Drones by Birds / Jiangkun Gong [et al.] // Progress In Electromagnetics Research. – 2019. – Vol. 81. – P. 1-11.

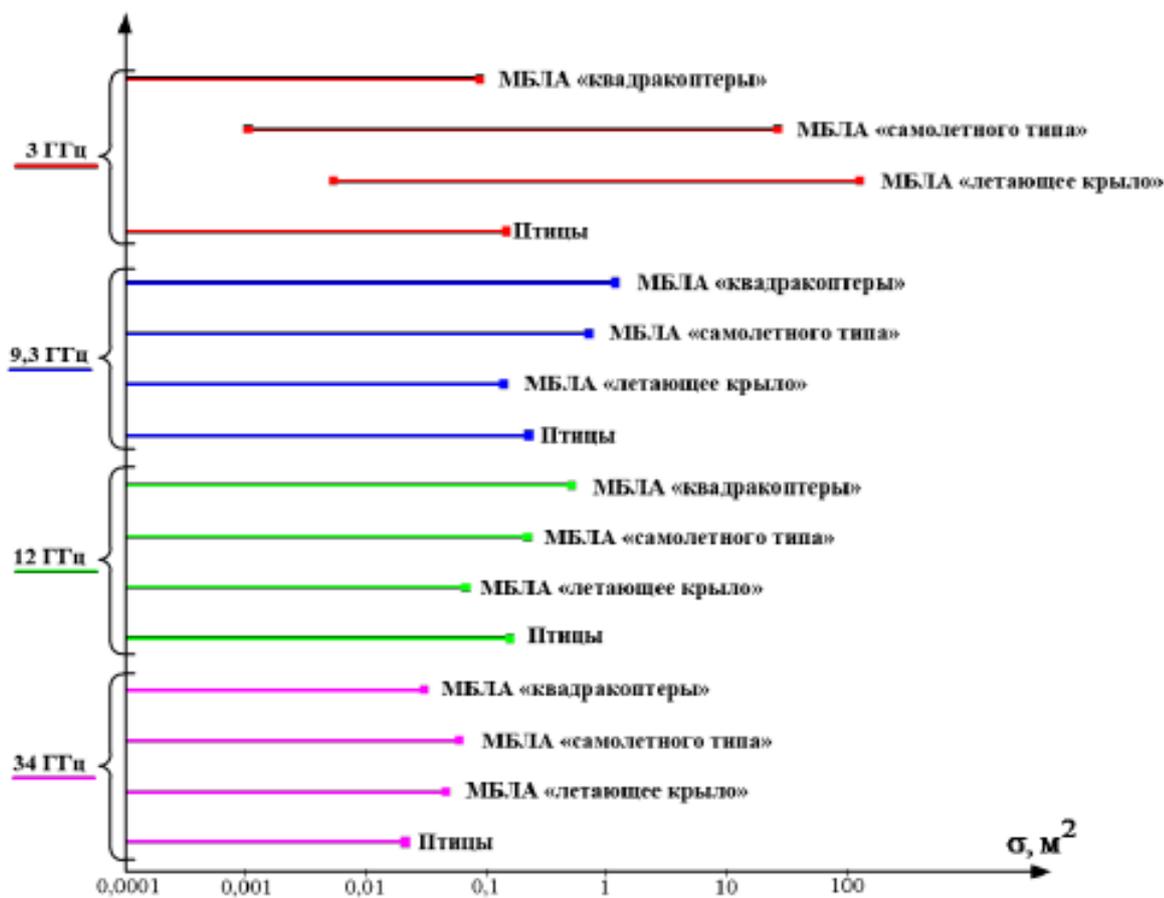


Рис. 1 – Диапазоны значений ЭОП МБЛА и птиц

# РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ СЕЛЕКЦИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ПТИЦ

Храменков А. С., Чигряй В. Г.  
Военная академия Республики Беларусь  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: xras.tech@gmail.ru, chigriay.vasil@yandex.by

*В докладе представлен перечень радиолокационных признаков селекции малоразмерных беспилотных летательных аппаратов и птиц, сформированный по результатам обзора русскоязычных и англоязычных публикаций.*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время задачи обнаружения и распознавания малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) являются важными задачами обеспечения общественной безопасности. Широкое распространение малоразмерных БЛА и риск, который они могут представлять для имущества или населения, постоянно растет. В связи с этим существует острая необходимость в раннем обнаружении и идентификации таких летательных аппаратов. Радиолокатор представляет собой один из наиболее перспективных инструментов всепогодного наблюдения малоразмерных БЛА, обеспечивая их обнаружение, измерение координат и распознавание. При этом одной из ключевых проблем является сложность различения малоразмерных БЛА и птиц, обладающих схожими значениями эффективной площади рассеяния и параметрами движения, такими как скорость и высота полета. Таким образом, выбор и анализ радиолокационных признаков селекции малоразмерных БЛА и птиц является важной практической задачей.

## I. ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ СЕЛЕКЦИИ МБЛА И ПТИЦ

Признаки радиолокационного распознавания принято делить на сигнальные и траекторные [3]. На основании обзора русскоязычных и зарубежных публикаций [1–7] было установлено, что основными признаками селекции МБЛА и птиц, выделяемых с помощью радиолокаторов, являются траекторные признаки, спектральный и мощностной радиолокационные портреты (РЛП) (рисунки 1).

## II. ТРАЕКТОРНЫЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ

На основании фильтрованных оценок прямоугольных координат  $(\hat{x}_k, \hat{y}_k, \hat{z}_k)$  наблюдаемого объекта и скоростей их изменения  $(V_{\hat{x}(k)}, V_{\hat{y}(k)}, V_{\hat{z}(k)})$  на текущем  $k$ -м контакте с целью могут быть оценены следующие траекторные признаки:

1. Модуль вектора полной скорости  $[V_k]$  [7];

2. Среднее значение модуля вектора полной скорости  $\bar{V}_k$  и его среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{V(k)}$  [5];
3. Модуль полного ускорения  $a_k$ , среднее значение ускорения  $\bar{a}_k$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{a(k)}$  [4, 5];
4. Рывок  $j_k$  [4];
5. Энергетическая высота  $H_{\Sigma(k)}$ , скорость изменения энергетической высоты  $V_{H_{\Sigma(k)}}$  [5];
6. Курсовой угол  $\Psi_k$ , среднее значение углов поворота  $\bar{\Psi}_k$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{\psi(k)}$  [4];
7. Кривизна траектории  $cur_k$  [5];
8. Коэффициент маневренности  $M_k$  [5];
9. Коэффициент колебания  $\zeta_k$  [5].

## III. СИГНАЛЬНЫЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ

1. Спектральный (доплеровский) РЛП  $\xi_k$  представляет собой упорядоченную совокупность мощностей отраженного сигнала, относящихся к различным элементам разрешения по частоте [3]. На основании анализа спектрального РЛП могут быть выделены следующие признаки: ширина спектра планерной составляющей  $\Delta f_{пл}$ , ширина спектра вторичной модуляции (ВМ)  $\Delta f_{вм}$ , частота следования спектральных составляющих, обусловленных наличием ВМ  $F_{вм}$ , число модуляционных составляющих  $N_{вм}$  [6].
2. Мощностной РЛП представляет собой мощность отраженного сигнала, которая является величиной пропорциональной ЭПР объекта  $\sigma_u$  [3]. Использование среднего значения ЭПР в качестве классификационного признака существенно ограничено, что обусловлено рядом факторов таких как: флуктуации ЭПР при различных углах пространственной ориентации цели, необходимость достаточного времени наблюдения для достоверной оценки среднего значения ЭПР, использование мер по снижению ЭПР [3].

## IV. ВЫВОДЫ

В докладе представлен анализ классификационных признаков МБЛА и птиц. В ходе анали-

за русскоязычных и англоязычных публикаций по теме селекции МБЛА и птиц были выделены две группы классификационных признаков: траекторные и сигнальные. При условии обеспечения достаточной точности измерения координат и наличии длительного времени анализа может быть выделена совокупность траекторных признаков классификации, имеющих высокую информативность. Сигнальные признаки предполагают анализ особенностей спектрального и мощностного РЛП. Повышение эффективности селекции МБЛА и птиц может быть достигнуто путем совместного использования сигнальных и траекторных отличительных признаков.

## V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Radar Countermeasures for Unmanned Aerial Vehicles / Carmine Clemente, Francesco Fioranelli, Fabiola Colone and Gang Li. – London: SciTech Publishing, 2021. – 394 p.
2. Tait, P. Introduction to Radar Target Recognition / P. Tait. London: IET, 2005. – 428 p.
3. Ширман, Я. Д. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я.Д. Ширман, С.А. Горшков, С.П. Лещенко, Г.Д. Братченко 113 и др. // Радиолокация и радиометрия, №3, Радиолокационное распознавание и методы математического моделирования. – 2000. – С. 5–64.
4. Srigrarom, S., Drone versus Bird Flights: Classification by Trajectories Characterization / S. Srigrarom, K. Hoe Chew, D. Meng Da Lee, P. Ratsamee // in 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), Thailand, Chiang Mai, 23-26 September 2020. – P. 343 – 348.
5. Liu, J Classification of bird and drone targets based on motion characteristics and random forest model using surveillance radar data / J. Liu, Q. Y. Xu, W. S. Chen // IEEE Access. – 2017. – Vol. 20. – P. 1–18.
6. Leonardi, M. Drones Classification by the Use of a Multifunctional Radar and Micro-Doppler Analysis / M. Leonardi, G. Ligresti, E. Piracci // Drones. – 2022. – Vol. 6, 124. – 19 p. <https://doi.org/10.3390/drones6050124>
7. Se-Won, Y. Efficient Classification of Birds and Drones Considering Real Observation Scenarios Using FMCW Radar / Y. Se-Won, K. Soo-Bum, J. Joo-Ho // Journal Of Electromagnetic Engineering And Science. – Sep. 2021. – Vol. 21. – № 4. – P. 270–281.

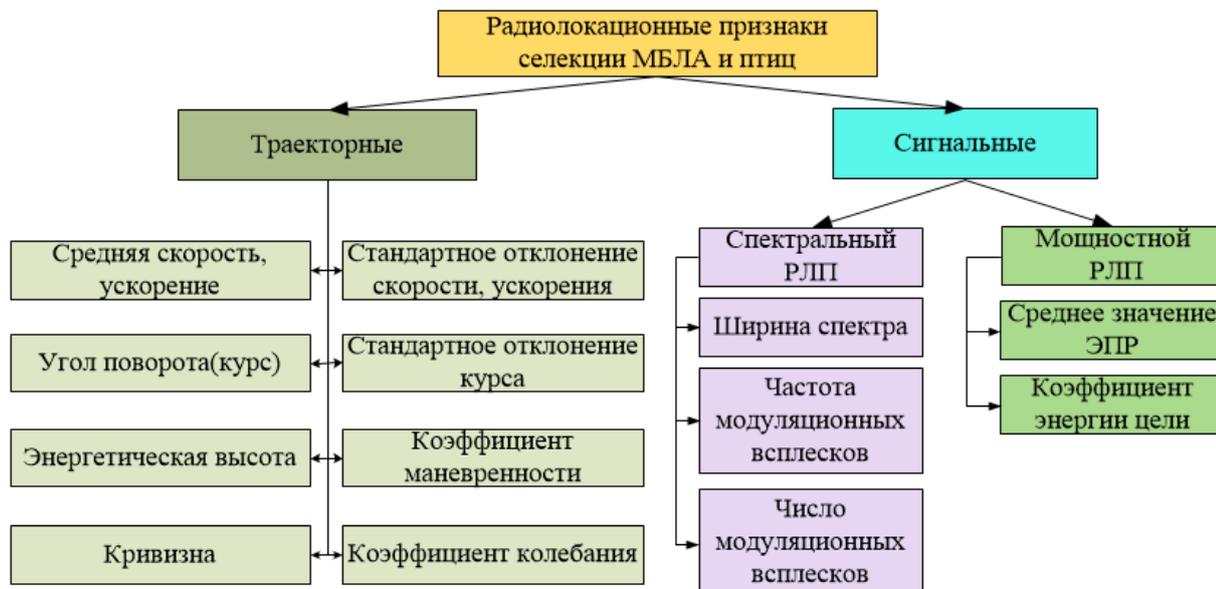


Рис. 1 – Радиолокационные признаки селекции МБЛА и птиц

# ОТДЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Шилин Л. Ю., Кукин Д. П., Шатилова О. О., Хмыз Д. Д.

Кафедра теоретических основ электротехники, кафедра вычислительных методов и программирования,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {kukin, o.shatilova}@bsuir.by

*В статье разобраны методы математического моделирования импульсных систем м устройства фазовой синхронизации на основе метода переменных состояний. Сформулированы математические модели описания процессов в трех режимах работы: количество импульсов из цепи обратной связи и количество импульсов со входа устройства равны, частота выходного сигнала меньше заданной, а также режиме частотного детектирования при значительном превышении частоты сигнала цепи обратной связи. Предложены математические модели исследуемого класса устройств, учитывающие нелинейный характер систем, работающих в режиме частотного фазового детектирования, а при моделировании процессов на электронной вычислительной машине существенно сокращают время расчётов. Описанные модели учитывают нелинейный и дискретный характер импульсных систем, являются удобными для вычислений, требуют небольших временных затрат для построения и высокую точность.*

## ВВЕДЕНИЕ

Импульсные системы и устройства фазовой синхронизации находят широкое применение в промышленности и различных областях науки и техники, так как обладают высокой точностью и коэффициентом полезного действия, малыми габаритами и весом, простотой схемотехнической реализации, широким диапазоном рабочих частот. Но практическое применение различных модификаций импульсных систем и устройств фазовой синхронизации невозможно без их глубокого и всестороннего исследования на основе использования математических моделей СФС с дискретизацией по времени и уровню, и применении при анализе и синтезе таких методов, в которых эти эффекты учитывались бы в полной мере. Создание таких моделей является сложной задачей, а аналитические исследования их, как правило, либо затруднены, либо вообще невозможны. В связи с этим высокоточные математические модели ориентированы на работу с электронными вычислительными системами, что влечет за собой необходимость создания моделей с различной точностью моделирования и скоростью расчетов.

Предлагается квантование по времени с постоянным периодом, что справедливо при <<малых>> отклонениях частоты выходного сигнала от стационарного значения, и сводит модель СФС к амплитудно-импульсной системе

### I. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

<<Точные>> математические модели импульсных систем фазовой синхронизации (ИСФС), учитывающие нелинейности элементов системы, нелинейность модуляции, импульсные свойства системы, требуют применения сложных математических процедур, а, как следствие, значительных временных затрат. Для упрощения математической модели ИСФС можно предполо-

жить, что переходные процессы в системе протекают достаточно «медленно». Условие медленности имеет вид

$$\overline{T}_n = \overline{T}_{n-1} + \Delta\overline{T}_n. \quad (1)$$

где  $\overline{T}_n = \frac{\Delta\overline{T}_n}{T_0}$ ,  $\Delta\overline{T}_n \ll T_{n-1}$  и  $\lambda_{1m}\Delta\overline{T}_n \ll 1$ ,  $\lambda_{1m}$  – максимальное собственное значение матрицы  $A$ ,  $\overline{T}_0$  – период входного сигнала в установленном режиме. Причем (1) не эквивалентно  $\frac{\overline{T}_n - \overline{T}_0}{T_0} \ll 1$ , т.к. это условие предполагает квантование по времени с постоянным периодом, что справедливо при «малых» отклонениях частоты выходного сигнала от стационарного значения, и сводит модель СФС к амплитудно-импульсной системе, а (1) допускает режимы, связанные с большими изменениями периода выходного сигнала системы.

Авторами предлагаются упрощенные кусочно-непрерывные математические модели систем фазовой синхронизации с использованием метода переменных состояния, которые были получены впервые в [1, 2].

Обобщенная структурная схема импульсной системы фазовой синхронизации представлена на рисунке 1, где  $\phi_{vh}$  – начальная фаза входного сигнала;  $\phi_{vh1}(t), \dots, \phi_{vhN}(t)$  – начальная фаза входного сигнала после блока ДФКД;  $\phi_{OC1}(t), \dots, \phi_{OCN}(t)$  – начальная фаза сигнала цепи обратной связи;  $\phi_{\epsilon 1}(t), \dots, \phi_{\epsilon N}(t)$  – сигнал фазового рассогласования;  $\phi_{\omega}$  – начальная фаза выходного сигнала;  $\phi_g$  – начальная фаза возмущающего воздействия, приведенная к выходу устройства;  $\phi_Z$  – начальная фаза выходного сигнала до появления возмущающего воздействия; ДФКД – делитель частоты с фиксированным коэффициентом деления; ДПКД1, ДПКД2, ..., ДПКДN – делитель частоты с переменным коэффициентом деления; M1, M2, ..., MN – модуляторы входного сигнала; ЦФК1, ЦФК2, ..., ЦФKN – цепи фильтра-

ции и коррекции; ДСУ1, ДСУ2, ..., ДСУN – дискретные сравнивающие устройства; С – суммирующее устройство; ОУ – объект управления; ПНЧ – преобразованная непрерывная часть устройства.

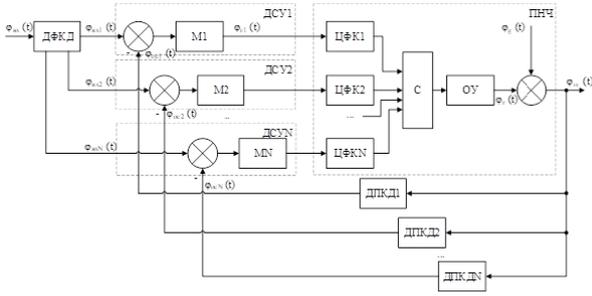


Рис. 1 – Обобщенная структурная схема ИСФС

В результате моделирования авторами были получены уравнения (2–7), описывающие математическую модель СФС с триггерным фазовым детектором и астатизмом второго порядка. Эта модель позволяет исследовать динамику ИСФС, определять устойчивость процессов, находить ширину полос удержания и захвата, и т.п., а также является удобной для параметрического синтеза, т.к. отсутствие трансцендентного уравнения замыкания дает возможность производить расчеты на ЭВМ с экономией машинного времени от 80% до 60% в моделях с высоким порядком передаточной функции НЛЧ.

$$\begin{cases} X_{1,n+1} = X_{1,n} + 2K_1\tau_n h_{nN} \\ X_{k,n+1} = X_{k,n} e^{-\frac{T_n}{T_k}} + C_2 h_{nN} T_k e^{-\frac{T_n}{T_k}} (2e^{\frac{T_n}{T_k}} - e^{\frac{T_n}{T_k}} - 1) \end{cases} \quad (2)$$

где  $C_2 - C_k$  определяются из передаточной функции НЛЧ системы вида следующим образом:

$$W_p = \frac{K_1(T_1 p + 1)}{p(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) \dots (T_k p + 1)},$$

$$C_k = \frac{Q(p)}{M'(p)}, k = \overline{1, m}.$$

Выходная координата определяется по формуле

$$w_{n+1} = z_{n+1} + g_{n+1} = X_{1,n+1} + \sum_{k=1}^m X_{k,n+1} + g_{n+1} \quad (3)$$

На интервале  $t \in [nT; nT + \tau_n]$  рассчитывается величина набега фазы выходного сигнала по формуле:

$$\phi_{Hn} = \frac{1}{N\Delta} T_n \left( X_{1,n} + 2K_1\tau_n h_{nN} - \sum_{k=1}^m C_k h_{nN} T_k \right) - \begin{cases} \frac{K_1 h_{nN} T_n^2}{2} - \sum_{k=1}^m (T_k (e^{\frac{T_n}{T_k}} - 1)) \\ (C_k h_{nN} T_k (2e^{\frac{T_n}{T_k}} - 1) + X_{k,n}) + \frac{gT_n}{N\Delta} \end{cases} \quad (4)$$

Зная начальную фазу сигнала  $\phi_n$  и набег фазы на периоде  $T_n$  (24) определим начальную фазу

сигнала обратной связи как  $\phi_{n+1} = \phi_n + \frac{\phi_{Hn}}{N\Delta}$ . Установившийся режим характеризуется постоянством выходной координаты  $w_{n+1}$ , неизменностью длительности импульсов  $\tau_{n+1}$ , набег фазы  $\phi_{Hn}$  и т.д. Таким образом, в установившемся режиме имеем:

$$\dot{\tau}_n = \frac{T_n^*}{2}, \quad (5)$$

$$\dot{X}_k = \frac{C_k h_{nN} T_k (2e^{\frac{T_n}{T_k}} - 1)}{1 - e^{\frac{T_n}{T_k}}}, \quad (6)$$

$$\phi_H = \pi. \quad (7)$$

К достоинствам приведенной модели необходимо отнести и тот фактор, что для создания ММ ИСФС с фазовым детектором «выборка – запоминание», необходимо существующую модель дополнить всего лишь одним алгебраическим уравнением.

## II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом авторами предложены математические модели импульсных систем фазовой синхронизации, которые учитывают, в том числе, нелинейный и дискретный характер систем, работающих в режиме частотного фазового детектирования, а при моделировании процессов на ЭВМ существенно сокращают время расчётов и варьировать точность.

## III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилин, Л. Ю. Автоматическое регулирование скорости двигателя с помощью системы импульсно-фазовой автоподстройки частоты. // Комплексная автоматизация и механизация-основа повышения эффективности производства и качества работы предприятий радиоэлектроники, связи и телевидения: Тез. докл. Конф. – Минск; 1980. – с. 53–54.
2. Шилин, Л. Ю. Анализ устойчивости широтно-импульсной системы регулирования скорости при введении интегратора в цепь управления / Л. Ю. Шилин, А. П. Кузнецов // Автоматика и вычислительная техника. – Минск: – Выш. школа. – 1982. – Вып.12. – с. 25–27.
3. Batura, M. P. Principles of constructing mathematical models of phase-locked loop systems / M. P. Batura, A. P. Kuznetsov, L. Yu. Shilin, D. P. Kukin // Reports of BSUIR. – 2014. – No. 2 (80). – P. 177–185.
4. Шилин, Д.Л. Анализ быстродействия импульсных систем фазовой синхронизации / Д. Л. Шилин, В. В. Пучинец, Л. Ю. Шилин // Информационные технологии и системы 2012 (ИТС 2012) : материалы международной научной конференции, БГУИР, Минск, Беларусь, 24 октября 2012 г. = Information Technologies and Systems 2012 (ITS 2012) : Proceeding of The International Conference, BSUIR, Minsk, 24th October 2012 / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2012. – С. 102–103.
5. Кунцевич В. М., Нелинейные системы управления с частотно- и широтно-импульсной модуляцией / В. М. Кунцевич, Ю. Н. Чеховой / – Киев : Техника, 1970. – 340 с.

# ABOUT MULTIFLOW DECOMPOSITION METHODS IN FRACTIONAL LINEAR PROGRAMMING PROBLEMS

Pilipchuk L. A., Romanovsky Y. V., Hurinovich V. V.

Department of Computer Technology and Systems, Belarusian State University  
Minsk, Belarus

E-mail: pilipchuk@bsu.by, yuriy\_v\_romanovskiy@mail.ru, gliger2004@gmail.com

We consider a nonlinear flow programming problem with a nested network constraint structure. An example of system decomposition, algorithms and technologies for solving large sparse linear systems with matrices of incomplete rank are given.

## INTRODUCTION

Currently, there has been a significant increase in interest in the use of streaming programming. Network and streaming models are used in virtually all scientific, social and economic spheres of human activity.

Network models are used in the analysis of a wide variety of systems, for example: inventory management systems, numerous territorial distribution systems (information, transport, energy).

Mathematical models and problems of network flow programming can be formulated in terms of linear and fractional linear programming. Flow models are suitable for analyzing problems that have a network structure that can be conveniently described using certain parameters of arcs and nodes.

## I. MATHEMATICAL MODEL

For a multinet  $S = (I, U)$ , we consider the following linear-fractional optimization problem with linear constraints

$$f(x) = \frac{p(x)}{q(x)} = \frac{\sum_{(i,j) \in U} \sum_{k \in K(i,j)} p_{ij}^k x_{ij}^k + \beta}{\sum_{(i,j) \in U} \sum_{k \in K(i,j)} q_{ij}^k x_{ij}^k + \gamma} \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\sum_{j \in I_i^+(U^k)} x_{ij}^k - \sum_{j \in I_i^-(U^k)} x_{ji}^k = a_i^k, i \in I^k, k \in K; \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K_0(i,j)} x_{ij}^k \leq d_{ij}^0, (i,j) \in U_0; \quad (3)$$

$$\sum_{(i,j) \in U} \sum_{k \in K(i,j)} \lambda_{ij}^{kp} x_{ij}^k = \alpha_p, p = \overline{1, l};$$

$$x_{ij}^k \geq 0, k \in K_0(i,j), (i,j) \in U_0; \quad (4)$$

$$0 \leq x_{ij}^k \leq d_{ij}^k, k \in K_1(i,j), (i,j) \in U; x_{ij}^k \geq 0,$$

$$k \in K(i,j) \setminus K_1(i,j), (i,j) \in U \setminus U_0;$$

$$I_i^+(U^k) = \{j \in I^k : (i,j)^k \in U^k\};$$

$$I_i^-(U^k) = \{j \in I^k : (j,i)^k \in U^k\}. \quad (5)$$

Here  $K$  ( $|K| < \infty$ ) is a set of different products (types of flow) transported through the multinet  $G$ . Without loss of generality, let's put

$K = \{1, \dots, |K|\}$ . Let us denote the connected network corresponding to a certain type  $k$  of flow with  $S^k = (I^k, U^k)$ , where  $I^k$  is the set of nodes and  $U^k$  is the set of arcs which are available for the flow of type  $k$ ,  $k \in K$ . Also, we define for each node  $i \in I$  the set of types of flows  $K(i) = \{k \in K : i \in I^k\}$  and for each multiarc  $(i,j) \in U$  the set  $K(i,j) = \{k \in K : (i,j)^k \in U^k\}$ . We assume that the denominator  $q(x)$  of the objective function (1) does not change sign on a set of multiflows  $X$ ,  $x \in X$ .

We use constructive decomposition theory [1] for constructing solutions of the following sparse linear systems: potentials system, system for appropriate direction of multinet change and to calculate the increment of the objective function. The work is devoted to methods, algorithms and technologies for constructing optimal and suboptimal solutions in synthesis with modern innovative technologies of sparse matrix analysis [2], algorithmic graph theory, theoretical computer science. The presented algorithms and computing technologies make it possible to construct solutions to large sparse linear systems with matrices of incomplete rank using parallel computing.

## II. EXAMPLE OF LINEAR SYSTEM DECOMPOSITION

For a multinet  $S = (I, U)$ ,  $I = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ ,  $U = \{(1,2), (2,3), (4,1), (4,2), (4,3), (5,1), (5,2), (5,4)\}$  consider a sparse underdetermined system of linear algebraic equations (5) – (6). Multinet  $S$  presented as a combination of networks  $S^k$  (Fig. 1):  $S^k = (I^k, U^k)$ ,  $k \in K = \{1, 2, 3\}$ ,

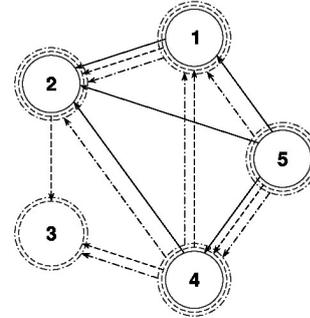


Fig. 1 – The multinet  $S = (I, U)$

$$I^1 = \{1, 2, 4, 5\}, I^2 = \{1, 2, 3, 4, 5\},$$

$$I^3 = \{1, 2, 3, 4, 5\},$$

$$\begin{aligned} U^1 &= \{(1,2)^1, (4,2)^1, (5,1)^1, (5,2)^1, (5,4)^1\}, \\ U^2 &= \{(1,2)^2, (2,3)^2, (4,1)^2, (4,3)^2, (5,4)^2\}, \\ U^3 &= \{(1,2)^3, (4,1)^3, (4,2)^3, (5,1)^3, (5,4)^3\}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,2}^1 - x_{5,1}^1 &= 5, & -x_{1,2}^1 - x_{4,2}^1 - x_{5,2}^1 &= -13 \\ x_{4,2}^1 - x_{5,4}^1 &= -1, & x_{5,1}^1 + x_{5,2}^1 + x_{5,4}^1 &= 9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,2}^2 - x_{4,1}^2 &= -1, & x_{2,3}^2 - x_{1,2}^2 &= 7 \\ -x_{2,3}^2 - x_{4,3}^2 &= -13, & x_{4,1}^2 + x_{4,3}^2 - x_{5,4}^2 &= -1 \\ x_{5,4}^2 &= 8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{1,2}^3 - x_{4,1}^3 - x_{5,1}^3 &= -4, & -x_{1,2}^3 - x_{4,2}^3 &= -10 \\ -x_{4,3}^3 &= -6, & -x_{4,1}^3 + x_{4,2}^3 + x_{4,3}^3 - x_{5,4}^3 &= 12 \\ x_{5,1}^3 + x_{5,4}^3 &= 8 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} x_{1,2}^1 + 4x_{4,2}^1 + 7x_{1,2}^3 + 4x_{2,3}^2 + 5x_{4,1}^2 + \\ + 4x_{4,1}^3 + 3x_{4,2}^1 + 6x_{4,2}^3 + 6x_{4,3}^2 + 2x_{4,3}^3 + 9x_{5,1}^1 + \\ + 3x_{5,1}^3 + 10x_{5,2}^1 + 4x_{5,4}^1 + 2x_{5,4}^2 + 9x_{5,4}^3 = 328 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10x_{1,2}^1 + 6x_{1,2}^2 + 5x_{1,2}^3 + 2x_{4,1}^2 + 4x_{4,1}^3 + \\ + 9x_{4,2}^1 + 10x_{4,3}^2 + 4x_{4,3}^3 + 4x_{5,1}^1 + 2x_{5,1}^3 + \\ + 4x_{5,2}^1 + 7x_{5,4}^1 + 7x_{5,4}^2 + 10x_{5,4}^3 = 412 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5x_{1,2}^1 + 8x_{1,2}^2 + x_{1,2}^3 + 7x_{2,3}^2 + 9x_{4,1}^2 + 5x_{4,1}^3 + \\ + 2x_{4,2}^3 + 6x_{4,3}^2 + 5x_{4,3}^3 + 4x_{5,1}^1 + x_{5,1}^3 + \\ + 7x_{5,2}^1 + 2x_{5,4}^1 + 8x_{5,4}^2 + 5x_{5,4}^3 = 359 \end{aligned} \quad (6)$$

Support  $U_T^k \cup U_C^k, k \in K = \{1,2,3\}$  for the multinet  $S = (I, U)$  for the system (5) – (6) [1] is represented on figures 2 – 4, where  $U_T^1 = \{(1,2)^1, (4,2)^1, (5,4)^1\}$ ,  $U_T^2 = \{(1,2)^2, (2,3)^2, (4,3)^2, (5,4)^2\}$ ,  $U_T^3 = \{(1,2)^3, (4,2)^3, (4,3)^3, (5,4)^3\}$  – sets of arcs of spanning trees  $U_T^1, U_T^2, U_T^3$  of the graphs  $S^1 = (I^1, U^1)$ ,  $S^2 = (I^2, U^2)$ ,  $S^3 = (I^3, U^3)$  respectively (marked with bold lines),  $U_C = U_C^1 \cup U_C^2 \cup U_C^3$  – set of cyclic arcs,  $U_C^1 = \{(5,1)^1, (5,2)^1\}$ ,  $U_C^2 = \{(4,1)^2\}$ ,  $U_C^3 = \emptyset$ .

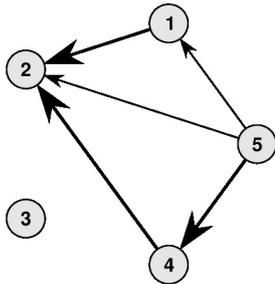


Fig. 2 – Support  $U_T^1 \cup U_C^1$

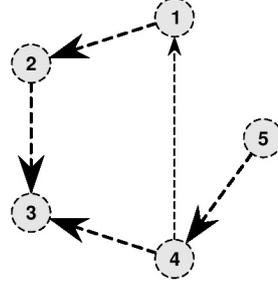


Fig. 3 – Support  $U_T^2 \cup U_C^2$

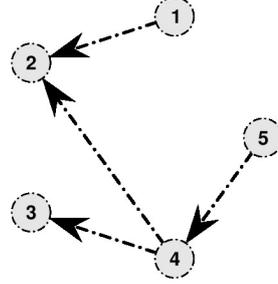


Fig. 4 – Support  $U_T^3 \cup U_C^3$

Construct a general solution to a sparse underdetermined system (5) – (6) relative to the support (Fig. 2 – 4)  $U_T^k \cup U_C^k, k \in K = \{1,2,3\}$  of the network  $S = (I, U)$  for the system (5) – (6).

General solution to sparse underdetermined system (5) – (6) relative to the reference set of arcs  $U_T^k \cup U_C^k, k \in K = \{1,2,3\}$ , which is shown in Fig. 2 – 4, has the form:

$$\begin{aligned} x_{5,2}^1 &\rightarrow \frac{1}{3,4} (-449 + 123y_{4,1}^3 - 85y_{5,1}^3), \\ x_{5,1}^1 &\rightarrow \frac{1}{3,4} (3311 - 889y_{4,1}^3 + 697y_{5,1}^3), \\ x_{4,1}^2 &\rightarrow -\frac{504}{17} + \frac{152y_{4,1}^3}{17} - 7y_{5,1}^3, \\ x_{5,1}^3 &\rightarrow y_{5,1}^3, \quad x_{4,1}^3 \rightarrow y_{4,1}^3, \\ x_{1,2}^1 &\rightarrow \frac{1}{3,4} (3481 - 889y_{4,1}^3 + 697y_{5,1}^3), \\ x_{4,2}^1 &\rightarrow \frac{1}{17} (-1295 + 383y_{4,1}^3 - 306y_{5,1}^3), \\ x_{5,4}^1 &\rightarrow \frac{1}{1,7} (383y_{4,1}^3 - 18(71 + 17y_{5,1}^3)) \\ x_{1,2}^2 &\rightarrow -\frac{521}{17} + \frac{152y_{4,1}^3}{17} - 7y_{5,1}^3, \\ x_{2,3}^2 &\rightarrow -\frac{402}{17} + \frac{152y_{4,1}^3}{17} - 7y_{5,1}^3, \\ x_{4,3}^2 &\rightarrow \frac{623}{17} - \frac{152y_{4,1}^3}{17} + 7y_{5,1}^3, x_{5,4}^2 \rightarrow 8, \\ x_{1,2}^3 &\rightarrow -4 + y_{4,1}^3 + y_{5,1}^3, \\ x_{4,2}^3 &\rightarrow 14 - y_{4,1}^3 - y_{5,1}^3, \\ x_{4,3}^3 &\rightarrow 6, x_{5,4}^3 \rightarrow 8 - y_{5,1}^3. \end{aligned}$$

### III. REFERENCES

1. Pilipchuk L. A. Linear-fractional extremal inhomogeneous problems network flow programming. – Minsk : BSU, 2013. – 235 p. (in Russian).
2. Pilipchuk L.A. Sparse Linear Systems and Their Applications. – Minsk : BSU, 2013. – 235 p.

# ABOUT SUBOPTIMAL SOLUTIONS TO THE PROBLEM OF IDENTIFYING OF SPECIAL PROGRAMMABLE DEVICES (SENSORS) AND FLOWS CONTROL

Ramanouski Y. V., Pilipchuk L. A., Biarozka I. S.

Department of Computer Technology and Systems, Belarusian State University  
Minsk, Belarus

E-mail: yuriy\_v\_romanovskiy@mail.ru, pilipchuk@bsu.by, berezko2004@gmail.com

*We are considering the current applied problem of constructing suboptimal solutions to the estimating a homogeneous flow in a bidirectional network. We give an example of constructing a suboptimal solution when installing special programmable devices (sensors) in nodes with variable external flow.*

## INTRODUCTION

We consider a problem of constructing the suboptimal solution for the bidirectional network. We guarantee that the network is fully monitored if the sensor location if special programmable devices (sensors) are installed in the nodes with unknown external flow.

### I. SUBOPTIMAL SOLUTION

For the finite connected bidirectional graph (network) [1]  $G = (I, U)$  we represent the traffic flow as follows:

$$\sum_{j \in I_i^+(U)} x_{ij} - \sum_{j \in I_i^-(U)} x_{ji} = \begin{cases} x_i, i \in I^* \\ 0, i \in I \setminus I^* \end{cases} \quad (1)$$

where  $I_i^+(U) = \{j \in I: (i, j) \in U\}$ ,  $I_i^-(U) = \{j \in I: (j, i) \in U\}$ ,  $x_{ij}$  – arc flow,  $x_i$  – external flow.

For the external flow the following condition holds:  $\sum_{i \in I^*} x_i = 0$ . Suppose that for each arc  $(i, j) \in U$  one knows the fraction  $p_{ij} \in (0, 1]$  of the total flow  $\sum_{i \in I^+(U)} x_{ij}$  going out of the node  $i \in I$ .

As a result of installing sensors in nodes with variable external flow, the system obtained after collecting information about flows has a unique solution. To collect information about the flow function of the form (1), the set of  $M$  controlled nodes coincides with the set of  $I^*$  nodes with non-zero external flow [1]. As a result, the following information is received from the installed sensors:

$$\begin{aligned} x_{ij} = f_{ij}, j \in I_i^+(U); \quad x_{ji} = f_{ji}, j \in I_i^-(U); \\ x_i = f_i, i \in M = I^* \end{aligned} \quad (2)$$

We substitute the known values of the variables (2) into the system of equations (1) and remove the arcs of the set  $H_1$  and the monitored nodes  $M = I^*$  from the graph  $G$ . The graph  $G' = (I', U')$  is obtained after removing nodes and arcs with known values (2) from graph  $G$ .

Let  $CS(M)$  be the cut-set of the cut of the graph (network)  $G$  from the source set  $M = I^*$  to the sink set  $I \setminus M$ . Let  $I(CS(M))$  be the set of nodes incident to the edges of  $CS(M)$ . We form the sets:  $M^+ = I(CS(M)) \setminus M, M^* = M \cup M^+$  and  $I \setminus M^*$ .

We consider the nodes of the set  $i \in M^+ = I(CS(M)) \setminus M$ . If the conditions  $|I_i^+(U)| > 1$  are

met and there is an arc  $(i, v_i)$  with the known flow  $f_{i, v_i} \in U$  going out of the node  $i \in M^+$  of the graph  $G$  then the unmonitored outgoing flow  $x_{ij}, (i, j) \in U'$  for  $G'$  can be expressed for the node  $i \in M^+$  as follows:

$$\begin{aligned} x_{ij} = \frac{p_{i,j}}{p_{i, v_i}} f_{i, v_i}, i \in I \setminus M^*, j \in I_i^+(\bar{U}), \\ v_i \in I, |I_i^+(U)| > 1. \end{aligned} \quad (3)$$

Let us substitute (3) into the system of equations for the graph  $G'$ . Let's continue removing the arcs with known flows (3) from the graph  $G' = (I', U')$ . We have the resulting graph  $\bar{G} = (\bar{I}, \bar{U})$  (the unmonitored part of the graph  $G$ ). The flows  $x_{ij}, (i, j) \in \bar{U}$  on the arcs coming from the nodes  $I \setminus M^*$  are unknown. So we form the additional equations of type (3) if the conditions  $i \in I \setminus M^*, j \in I_i^+(\bar{U}), v_i \in \bar{I}, |I_i^+(\bar{U})| > 1$  are met. Then the system of equations to get the unknown flows  $x_{ij}, (i, j) \in \bar{U}$  has the form

$$\sum_{j \in I_i^+(\bar{U})} x_{ij} - \sum_{j \in I_i^-(\bar{U})} x_{ji} = a_i, i \in \bar{I}, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} x_{ij} = \frac{p_{i,j}}{p_{i, v_i}} x_{i, v_i}, i \in I \setminus M^*, \\ j \in I_i^+(\bar{U}), v_i \in \bar{I}, |I_i^+(\bar{U})| > 1. \end{aligned} \quad (5)$$

where  $a_i, i \in \bar{I}$  are constants obtained from the system (1) using the a priori information (2)–(3). In the case of additional equations (5) we apply the constructive theory of decomposition [1] to solve the system (4)–(5). We can not form additional equations (5) if the following conditions are not met:  $i \in I \setminus M^*, j \in I_i^+(\bar{U}), v_i \in \bar{I}, |I_i^+(\bar{U})| > 1$ . In the absence of additional equations (5) we use the effective algorithms for solving a sparse system (4) with a graph incidence matrix [1].

### II. EXAMPLE

Figure 1 shows the finite connected bidirectional graph  $G = (I, U)$ ,  $I = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ ,  $U = \{(1, 2), (1, 5), (2, 1), (2, 6), (3, 4), (3, 6), (4, 3), (4, 7), (4, 8), (5, 1), (6, 2), (6, 3), (6, 7), (7, 4), (7, 6), (8, 4)\}$  and the set of nodes with non-zero external flow  $I^* = \{2, 3, 6, 7\}$ .

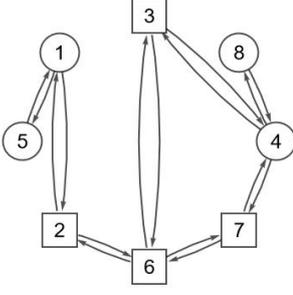


Fig. 1 – Graph  $G$

For the given graph  $G$  (Fig. 1) the system of equations of kind (1) has the form

$$\begin{aligned}
x_{1,2} + x_{1,5} - x_{2,1} - x_{5,1} &= 0 \\
x_{2,1} + x_{2,6} - x_{1,2} - x_{6,2} &= x_2 \\
x_{3,4} + x_{3,6} - x_{4,3} - x_{6,3} &= x_3 \\
x_{4,3} + x_{4,7} + x_{4,8} - x_{3,4} - x_{7,4} - x_{8,4} &= 0 \\
x_{5,1} - x_{1,5} &= 0 \\
x_{6,2} + x_{6,3} + x_{6,7} - x_{2,6} - x_{3,6} - x_{7,6} &= x_6 \\
x_{7,4} + x_{7,6} - x_{4,7} - x_{6,7} &= x_7 \\
x_{8,4} - x_{4,8} &= 0
\end{aligned} \tag{6}$$

We will build the suboptimal solution of the sensor location problem for the graph  $G$ . Suppose the set of monitored nodes for the bidirectional graph  $G$  shown in Figure 1 is  $M = I^* = \{2,3,6,7\}$ .

Consider the cut of the graph (network)  $G$  with the source set  $M = I^*$  (and the sink set  $I \setminus M = I \setminus I^*$ ). Let  $CS(M)$  be the cut-set (of arcs) and  $I(CS(M))$  be the set of nodes incident to the edges of  $CS(M)$ .

In sensor location problem (SLP) the flows  $x_{i,j} = f_{i,j}$  on every incoming and outgoing arcs. For each node  $M = I^* = \{2,3,6,7\}$  (is the set of monitored nodes) are known as well as the external flows  $x_i = f_i$ ,  $i \in M \cap I^* = I^* = \{2,3,6,7\}$ : We substitute the known values of the variables into the system of equations (6) and remove the arcs  $H_1$  and the monitored nodes  $M = I^* = \{2,3,6,7\}$  from the graph  $G$ . The resulting graph  $G'$  is shown in Figure 2. Graph  $\bar{G}$  – the unobservable part of the graph  $G$  is represented in Figure 3.

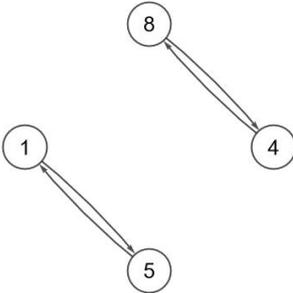


Fig. 2 – Graph  $G'$

If the following conditions are executed:  $|I_i^+(U)| > 1$  and there is an arc  $(i, v_i)$  with a known

outgoing flow  $f_{i, v_i} \in U$  for node  $i \in M^+$  of the graph  $G$  then unobserved outgoing flow  $x_{ij}, (i, j) \in U'$  for graph  $G'$  can be expressed for node  $i \in M^+$  through any known flow  $f_{i, v_i} \in U$  as follows:  $x_{ij} = \frac{p_{i,j}}{p_{i, v_i}} f_{i, v_i}$ ,  $j \in I_i^+(U')$ .

For the node  $i \in M^+ = I(CS(M)) \setminus M$  unobserved outgoing flow  $x_{ij}, (i, j) \in U'$  for graph  $G'$  can be expressed by through known observed outgoing flow. If the following conditions are executed:  $|I_i^+(U)| > 1$ .  $f_{1,2} \in U$  and  $f_{4,3} \in U$  as follows:

$$x_{1,5} = \frac{p_{1,5}}{p_{1,2}} f_{1,2}, \quad x_{4,8} = \frac{p_{4,8}}{p_{4,3}} f_{4,3}. \tag{7}$$

Note that in example 1 the conditions  $|I_i^+(U)| > 1$  for the nodes  $i \in I \setminus M^* = \{5,8\}$  are not met:  $|I_5^+(U)| = 1$  and  $|I_8^+(U)| = 1$ .

We substitute the known values of the flows (7) along arcs of the set  $H_2$  into the system of equations (6). Let's continue the removal process for the arcs of the set  $H_2$  from the graph  $G'$ . The resulting graph  $\bar{G} = (\bar{I}, \bar{U})$  (the unobservable part of the graph  $G$ ) is shown in Figure 3.

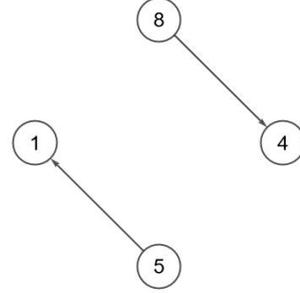


Fig. 3 – Graph  $\bar{G}$

We assume that the sensors are ideal, i.e. the data received from the sensors are accurate. As a result of collecting information from sensors, a system with unknown arc flows for the graph  $\bar{G}$  will be obtained.

$$\begin{aligned}
x_{5,1} &= f_{1,2} - f_{2,1} + \frac{p_{1,5}}{p_{1,2}} f_{1,2} \\
x_{8,4} &= f_{4,3} + f_{4,7} - f_{3,4} - f_{7,4} + \frac{p_{4,8}}{p_{4,3}} f_{4,3}
\end{aligned} \tag{8}$$

For numerical solution of systems with the graph incidence matrix we use effective methods and technologies of sparse analysis.

### III. REFERENCES

1. Pilipchuk L. A., Ramanouski Y. V. Sensor location problem for the bidirectional graph: optimal solutions. Web Programming and Internet Technologies (WebConf2024): materials of the 6th International. scientific-practical conf., Minsk, May 15–16, 2024 / Belarus. State University; Editorial Board: I.M. Galkin (chief editor) [and others]. – Minsk: BSU, 2024. – P. 213–218

Секция «Автоматизированные  
системы обработки информации»

Section «Automated information  
processing systems»



# АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ И ГЕНЕРАЦИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Александров Н. А., Нестеренков С. Н.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: nekitale@gmail.com, s.nesterenkov@bsuir.by

*В работе рассмотрены алгоритмы, позволяющие проанализировать пользовательские предпочтения, что позволит составить список персональных рекомендаций. Также рассмотрена классификация алгоритмов и возможные варианты их использования.*

## ВВЕДЕНИЕ

Рекомендательные системы предназначены для точного прогнозирования предпочтений пользователей и предоставления персонализированных рекомендаций по товарам или услугам. Они помогают потребителям находить именно те предложения, которые наиболее соответствуют их интересам и потребностям.

Сегодня такие системы внедрены повсеместно и стали неотъемлемой частью большинства крупных интернет-сервисов. Онлайн-магазины, стриминговые платформы, новостные порталы и социальные сети активно используют алгоритмы рекомендаций для улучшения пользовательского опыта, предлагая контент или товары, которые могут заинтересовать конкретного пользователя на основе его предыдущих действий, предпочтений и анализа поведения.

### I. ВИДЫ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Алгоритмы анализа пользовательских предпочтений и генерации рекомендаций можно разделить на 3 категории.

1. Коллаборативная фильтрация – это один из самых популярных методов рекомендаций, основанный на анализе предпочтений и поведения пользователей. Существует два основных типа коллаборативной фильтрации:

1.1. User-based: Рекомендации строятся на основе сходства между пользователями. Например, если пользователи А и В ставят похожие оценки одинаковым фильмам, то фильмы, которые понравились А, могут быть рекомендованы В. Предполагается, что пользователи с похожими вкусами будут одинаково оценивать похожие элементы. Такой подход используется, например, в системах рекомендаций книг на основе того, что другие пользователи с аналогичными предпочтениями уже прочитали и оценили.

1.2. Item-based: В этом случае рекомендации строятся на основе сходства между элементами. Если, например, фильмы X и Y часто получают одинаковые оценки, то пользователю, которому понравился фильм X, может быть предложен фильм Y. Такой подход применим в музыкальных сервисах, где песни рекомендуются на основе того, что другие пользователи часто прослушивают их вместе.

Коллаборативная фильтрация обладает рядом преимуществ, в том числе независимостью от анализа содержимого элементов, что делает её универсальной. Однако метод сталкивается с проблемой «холодного старта» – нехваткой данных для новых пользователей или элементов.

2. Матричная факторизация (Matrix Factorization) – это метод, используемый для сокращения размерности данных и выявления скрытых факторов, влияющих на предпочтения пользователей. Одним из известных алгоритмов этого типа является SVD (Разложение сингулярных значений). Матричная факторизация позволяет обнаружить скрытые закономерности в больших матрицах, где строки – это пользователи, а столбцы – элементы. Это улучшает качество рекомендаций, анализируя взаимодействия между пользователями и элементами на более глубоком уровне.

### II. АЛГОРИТМ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НА ОСНОВЕ СХОДСТВА ЭЛЕМЕНТОВ

В ситуации, когда имеются данные о предпочитаемых пользователем товарах, но недостаточно информации о схожести пользователей для применения методов факторизации можно использовать коллаборативную фильтрацию на основе схожести товаров. Для этого потребуется представить характеристики товаров в виде текстового описания товара. В дальнейшем, тексто-

вые описания преобразуются в вектора, используя алгоритм TF-IDF (см. формула 1).

$$TF(t,d) = \frac{\text{number of times } t \text{ appears in } d}{\text{total number of terms in } d}$$

$$IDF(t) = \log\left(\frac{N}{1+df}\right) \quad (1)$$

$$TF - IDF(t,d) = TF(t,d) * IDF(t)$$

После проведения векторизации требуется вычислить косинусное расстояние. Данное значение лежит в диапазоне от -1 до 1 и чем оно больше, тем больше схожесть двух сравниваемых товаров:

$$\text{cosine similarity} = S_c(A,B) = \frac{A \cdot B}{\|A\| \|B\|} =$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2}} \quad (2)$$

Данный подход не требует больших вычислительных мощностей и может работать с любыми данными, однако ему требуется наличие большого количества данных для точной работы и он чувствителен к семантике описания товаров.

### III. АЛГОРИТМ МАТРИЧНОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ

User-item matrix – это таблица, в которой каждая строка представляет собой пользователя, каждый столбец – товар, а каждая ячейка содержит информацию о взаимодействии между пользователем и товаром. Например, в ячейке может быть указано количество раз, которое пользователь купил товар, или оценка, которую пользователь поставил товару. User-item matrix используется в рекомендательных системах для определения предпочтений пользователей и предложения им наиболее подходящих товаров. Очевидно, что данная матрица - очень большая и разреженная. Эту проблему можно решить при помощи матричной факторизации.

Сингулярное разложение матриц (SVD-разложение) – это представление прямоугольной матрицы в виде произведения нескольких матриц особого вида. Цель этого разложения – это упростить некоторые вычисления, которые будут осуществляться над матрицей. Цель в контексте рекомендательных систем – чтобы по полученному представлению мы могли получить прогноз оценки пользователя.

Любая прямоугольная матрица размеров  $N$  на  $M$  представляется в виде:  $Mat_{N \times M} = U \sum V^*$ , где  $U$  и  $V$  – унитарные матрица порядка  $N$  и  $M$  соответственно (при этом матрица  $V^*$  – это сопряженно-транспонированная матрица к  $V$ ),  $\sum$  – матрица размеров  $N \times M$ , на главной диагонали которой лежат неотрицательные числа.

Для изучения факторных векторов ( $p_u$  и  $q_i$ ) система минимизирует ошибку регуляризованного квадрата на множестве известных рейтингов:

$$Mat_{N \times M} = U \sum V^* \min_{u_i, v_j} \sum_{i,j} (mat_{i,j} - u_i * v_j)$$

, где  $u_i, v_j$  строки и столбцы матриц  $U$  и  $V^*$  соответственно,  $mat_{i,j}$  – известные элементы матрицы.

Минимизация может производиться различными математическими методами, например, с помощью градиентного спуска.

Однако у SVD есть существенные недостатки: из-за большого количества пропусков в матрице полученное решение будет слишком шумным, а кроме того, его придется каждый раз рассчитывать заново при добавлении новых пользователей или объектов.

## IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В завершении отметим, что выбор алгоритма анализа зависит от имеющихся данных и требований. Каждый из них обладает своими плюсами и минусами. Зачастую, компании прибегают к комбинированию разных методов для реализации более адаптивной системы, которая сможет выбирать методы реализации на основе текущего состояния данных.

Следует также отметить, что внедрение системы рекомендаций требует не только выбора подходящего алгоритма, но и тщательной настройки модели, работы с данными и постоянной валидации результатов. Важно не только разработать систему, но и проводить регулярные эксперименты с целью её оптимизации, чтобы она максимально точно удовлетворяла нужды пользователей и бизнеса. В перспективе, использование продвинутых методов машинного обучения, таких как глубокое обучение и нейронные сети, может ещё больше улучшить качество рекомендаций, особенно в сложных и динамичных доменах, таких как электронная коммерция или потоковое видео.

## V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Recommender Systems Handbook 3rd ed. / F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira // Springer – 2022.
2. Practical Recommender Systems / K. Falk // Manning – 2019.
3. Recommender Systems: Legal and Ethical Issues (The International Library of Ethics, Law and Technology, 40) / S. Genovesi, K. Kaesling, S. Robbins // Springer – 2023.
4. Использование алгоритмов Big Data для формирования индивидуальных музыкальных рекомендаций / И. П. Надененко, С. Н. Нестеренков // Восьмая Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня» – Минск – 2022 год.
5. Поиск визуально подобных изображений на основе машинного обучения / М. М. Гресик, С. Н. Нестеренков // Девятая Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня» – Минск – 2023 год.

# АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА

Баран И. В., Нестеренков С. Н.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: igrbaran@gmail.com, s.nesterenkov@bsuir.by

*В последние годы алгоритмы анализа тональности текста привлекают все большее внимание благодаря их применению в различных сферах, таких как маркетинг, социальные исследования и обработка естественного языка. В данной работе рассматриваются два основных подхода к анализу тональности: лексиконные методы и методы машинного обучения, включая наивный байесовский классификатор, метод опорных векторов и сверточные нейронные сети. Проводится сравнение этих подходов с точки зрения их эффективности и применимости к различным типам текстов.*

## ВВЕДЕНИЕ

Анализ тональности текста представляет собой процесс автоматической интерпретации эмоциональной окраски текста, определяя, выражает ли он позитивные, негативные или нейтральные эмоции. В условиях стремительного роста объёмов информации в интернете, таких как отзывы пользователей, комментарии в социальных сетях и статьи, анализ тональности стал важным инструментом для понимания общественного мнения и настроений. Данная технология находит широкое применение в маркетинге, социальной аналитике, политике и других областях, где важно быстро и точно оценивать реакции людей. Алгоритмы, используемые для анализа тональности, основаны на различных методах машинного обучения и обработки естественного языка, которые позволяют анализировать контекст и структуру текста. В этом докладе будут рассмотрены ключевые алгоритмы анализа тональности, их особенности и применимость в различных ситуациях.

### I. ЛЕКСИКОННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ

Лексиконные методы анализа тональности используют заранее созданные словари, в которых каждому слову присвоена определённая эмоциональная окраска (позитивная, негативная или нейтральная). Простейший способ применения таких методов заключается в суммировании полярностей слов, присутствующих в тексте, и определении общей тональности. Этот подход прост в реализации и не требует предварительного обучения модели, что делает его полезным для быстрой оценки.

Однако главный недостаток лексиконных методов заключается в том, что они не учитывают контекст. Одно и то же слово может иметь разные значения в зависимости от ситуации, что лексикон не способен учесть. Лексиконы также не справляются с такими сложными языковыми явлениями, как ирония, сарказм или многозначность слов. Для задач, где важен контекст, лучше подходят методы машинного обучения.

### II. МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ

Методы машинного обучения для анализа тональности основываются на обучении моделей на размеченных данных, где каждый текст заранее классифицирован по тональности (положительная, отрицательная, нейтральная). Машинное обучение позволяет учитывать контекст слов и выявлять сложные закономерности в тексте. Рассмотрим несколько популярных алгоритмов.

Наивный байесовский классификатор (Naive Bayes) предполагает независимость признаков (слов) друг от друга, что является его «наивным» предположением. Вероятность принадлежности текста классу  $C$  (например, позитивной или негативной тональности) вычисляется на основе теоремы Байеса:

$$P(C|X) = \frac{P(X|C)P(C)}{P(X)}$$

где  $P(C|X)$  – это вероятность того что текст  $X$  принадлежит классу  $C$ ,  $P(X|C)$  – вероятность встретить слова  $X$  в текстах класса  $C$ ,  $P(C)$  – априорная вероятность класса  $C$ , а  $P(X)$  – полная вероятность встретить слова  $X$  в любых текстах.

Метод опорных векторов (SVM) – это линейный классификатор, который находит гиперплоскость, разделяющую данные на классы. В контексте анализа тональности SVM пытается найти границу между текстами с разной эмоциональной окраской. Функция для оптимизации в SVM выглядит следующим образом:

$$\min_{w,b} \frac{1}{2} \|w\|^2$$

при условии, что для всех обучающих примеров  $i$ :

$$y_i(w * x_i + b) \geq 1$$

Где  $w$  – это весовой вектор, определяющий гиперплоскость,  $b$  – смещение,  $y_i$  – метка класса для примера  $i$ ,  $x_i$  – вектор признаков (слов) для текста  $i$ . Основное преимущество SVM заключается в его способности эффективно работать с высокоразмерными пространствами признаков,

что делает его популярным в задачах текстовой классификации.

Сверточные нейронные сети (CNN) – это мощный инструмент для решения задач классификации текстовой информации. Задача классификации текстовой информации определяется следующим образом. Пусть существует конечное множество категорий  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ , конечное множество документов  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$  и неизвестная целевая функция  $\Phi$ , определяющая соответствие для каждой пары <текст, категория>  $\Phi : D \times C \rightarrow \{0, 1\}$ . Задача состоит в нахождении функции  $\Phi'$ , которая является максимально близкой к целевой функции  $\Phi$ . Эта функция называется классификатором.

CNN применяются для решения задачи классификации текста благодаря своей способности выявлять локальные паттерны и особенности в данных. На входе модель получает текст, который предварительно преобразуется в числовые вектора (например, с помощью методов векторизации слов, таких как Word2Vec или TF-IDF). Векторы пропускаются через несколько сверточных слоёв, где каждый фильтр сети выделяет определённые признаки текста, такие как эмоциональные выражения, ключевые слова, или даже сложные грамматические конструкции, связанные с общей тональностью текста или смыслом.

Основным преимуществом использования CNN в задачах анализа текста является их способность выявлять значимые локальные зависимости между словами и фразами. В сверточных сетях используется операция свёртки, которая представляет собой процесс сканирования текста с помощью набора фильтров (сверток). Операция свёртки применяется для обработки последовательностей слов, выделяя локальные зависимости, которые могут быть неочевидны при использовании традиционных методов обработки текста. Это делает CNN особенно полезными для анализа текстов, содержащих сложные структуры, такие как зависимые предложения, многозначные выражения и контекстуальные зависимости.

### III. СРАВНЕНИЕ ЛЕКСИКОННЫХ МЕТОДОВ И МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Лексиконные методы и методы машинного обучения представляют два разных подхода к анализу тональности текста, и каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Лексиконные методы просты, быстры и не требуют предварительного обучения, что делает их удобными для использования в задачах, где точность не критична или для приложений с ограниченными вычислительными ресурсами. Однако они часто не способны точно анализировать слож-

ные тексты, учитывать контекст или выявлять тональность в многозначных выражениях.

Методы машинного обучения, напротив, обладают большей гибкостью и могут справляться с более сложными текстами благодаря обучению на реальных данных. Они лучше работают с многозначными словами, иронией и сарказмом, а также могут учитывать контекст, что делает их более точными в задачах анализа тональности. Однако такие методы требуют значительных вычислительных ресурсов и больших объёмов размеченных данных для обучения, что может ограничивать их применение в некоторых ситуациях.

Выбор между этими методами зависит от конкретной задачи. В простых случаях лексиконные методы могут быть достаточными, тогда как для более сложных текстов и высоких требований к точности лучше использовать методы машинного обучения.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ тональности текста – это важная задача в области обработки естественного языка, которая находит широкое применение в маркетинге, социальных сетях и автоматизированной аналитике отзывов. Лексиконные методы и методы машинного обучения представляют собой два ключевых подхода к решению этой задачи, каждый из которых имеет свои сильные и слабые стороны.

Современные тенденции показывают, что для решения сложных задач анализа тональности всё чаще применяются гибридные методы, которые сочетают лексиконы с мощью машинного обучения, обеспечивая баланс между точностью и эффективностью. Выбор подхода всегда зависит от требований задачи, объёма данных и доступных ресурсов. В итоге, развитие методов анализа тональности продолжает расширять горизонты применения этих технологий, делая их неотъемлемой частью анализа больших данных, автоматизации бизнес-процессов и принятия решений.

1. Нестеренков, С. Н. Использование сверточных нейронных сетей для классификации и анализа тональности текстов / С. Н. Нестеренков, П. А. Федоров, В. А. Денисов // Информационные технологии и системы 2019 (ИТС 2019). – Минск, 2019. – С. 248-249.
2. Жалейко, Д. А. Нейросети в анализе эмоционального состояния и развития персонала и его влияния на успех проектов / Д. А. Жалейко, С. Н. Нестеренков, И. Г. Скиба // сб. науч. ст. X Междунар. науч.-практ. конф. – Минск : БГУИР, 2024. – С. 373–376.
3. Yanyan W., Qun C., Jiquan S., Boyi H., Murtadha A, Zhanhuai Li G. Machine Learning for Aspect-level Sentiment Analysis // arXiv:1906.02502 – 2019.
4. Chiranji Lal Chowdhary. Multidisciplinary Applications of Deep Learning-Based Artificial Emotional Intelligence. // IGI Global, 2022. – 324.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ОТВЕТОВ СЛУЖБЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Баяк Е. И., Быстрова В. А., Нестеренков С. Н.  
Факультет компьютерных сетей и систем,  
Центр информатизации и инновационных разработок,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: {e.baiak, s.nesterenkov}@bsuir.by, veronikabystrova94@gmail.com

*В данной статье рассматриваются возможности автоматизации службы поддержки учреждения высшего образования с применением нейронных сетей. Представлено решение на основе нейронных сетей для анализа запросов и предоставления автоматизированных ответов. Рассмотрены особенности настройки языковых моделей с использованием платформы Hugging Face для адаптации модели к специфике образовательных процессов. Внедрение таких технологий может значительно повысить эффективность работы техподдержки, сократив нагрузку на сотрудников и улучшив качество обслуживания.*

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире автоматизация процессов становится неотъемлемой частью функционирования организаций, и высшие учебные заведения не являются исключением. В данной статье рассмотрена автоматизация ответов техподдержки учреждения высшего образования с использованием нейронных сетей.

Производительность персонала поддержки снижается из-за обработки повторяющихся запросов, что приводит к увеличению времени ожидания для студентов и потенциально влияет на удовлетворенность пользователей. Кроме того, монотонные задачи способствуют усталости персонала, что повышает риск ошибок в ответах.

Машинное обучение предлагает решение этих проблем, позволяя автоматизировать рутинные задачи и эффективно обрабатывать входящие запросы. Системы на основе нейронных сетей способны быстро анализировать текстовые сообщения, определять ключевые темы и предоставлять соответствующие ответы. Внедрение таких технологий повысит производительность работы техподдержки.

## I. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕХПОДДЕРЖКИ

В техническую поддержку учреждения высшего образования приходит множество различных заявок от разных категорий пользователей: студентов, преподавателей или сотрудников деканата. Некоторые заявки не относятся к компетенции техподдержки и подлежат передаче в другой отдел, например: деканат, кафедра или отдел кадров. Такие заявки и различные вопросы, поступающие в техподдержку, требуют стандартных ответов, что ограничивает работников в решении более уникальных проблем [1].

На базе нейронных сетей возможно создание системы для предварительной обработки заявок. Если автоматизированная система уверена в своем ответе, она может сразу предоставить информацию. На рисунке 1 показан пример подобной заявки от студента в техподдержку БГУИР. Личность студента скрыта, а текст перефразирован. Обученная модель может автоматически дать ответ без участия человека. В других случаях, когда требуется дополнительная информация, интеллектуальная система может запросить ее у пользователя. Если же запрос не может быть обработан, система оставит его без ответа и назначит задачу на работника.

Пожалуйста, переведите меня дистанционно на другую специальность – "Метрология"

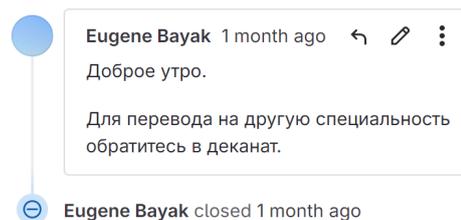


Рис. 1 – Ответ техподдержки

Существует множество API чат-ботов, которые предоставляют разработчикам возможность интегрировать мощные языковые модели в свои приложения и сервисы. Например, компания OpenAI сделала доступным API для своих моделей, что позволяет использовать функции обработки естественного языка и преобразования речи в текст в своих продуктах [2]. Однако ChatGPT, как и другие модели, генерирует ответы на основе паттернов и ассоциаций, усвоенных из обучающих данных, что может приводить к ошибкам или недостоверным сведениям в ответах [3].

Различные учебные заведения обладают уникальными бизнес-процессами, которые могут не соответствовать стандартным принципам обучения нейронных сетей. Например, правила, регулирующие взаимодействие с деканатами, могут различаться в разных университетах. В некоторых ситуациях для выполнения задачи техподдержкой необходима копия приказа или докладная записка на проректора. ChatGPT может не знать о таких нюансах, что повышает риск ошибок в интерпретации запросов и формулировке ответов.

## II. МОДЕЛИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Внедрение современных технологий в системы технической поддержки кардинально меняет подход к обработке входящих запросов, обеспечивая эффективность и масштабируемость. Трансформатор – разновидность архитектуры модели, которая особенно эффективна для задач обработки естественного языка. В 2018 году вышло два трансформера GPT и BERT, сочетающих в себе два механизма self-attention и трансферное обучение. Они способны более точно понимать контекст и значение каждого слова, чем предыдущие модели [4].

Предварительно обученная языковая модель является трансформатором, который изначально был обучен на большом корпусе текста. Эта фаза позволяет модели усваивать лингвистические шаблоны и структуры. Основное преимущество использования таких моделей по сравнению с обучением трансформатора с нуля заключается в значительном сокращении вычислительных ресурсов и времени. В противном случае требуются огромные объемы данных и мощные вычислительные возможности, в то время как предварительно обученную модель можно точно настроить на конкретные задачи с гораздо меньшими затратами [5].

Hugging Face – ведущая платформа в области обработки естественного языка, которая предоставляет доступ к огромному массиву предварительно обученных моделей. С помощью Model Hub пользователи могут легко просматривать, выбирать и внедрять такие модели, как BERT, GPT-2 или T5 для своих приложений. Чтобы получить модель из Hugging Face, можно использовать библиотеку python `transformers`, которая предлагает удобные API для загрузки и использования моделей [6].

Тонкая настройка предварительно обученной модели на пользовательских данных включает несколько этапов. Необходимо собрать набор данных – список заявок в техподдержку с ответами на них. Эти данные должны быть достаточно разнообразными, чтобы охватывать различные сценарии, с которыми может столкнуться модель. Фильтрация набора данных имеет решающее значение для обеспечения качества и релевантности, устраняя любой шум, который может ввести модель в заблуждение. После подготовки набор дан-

ных можно импортировать в фреймворк Hugging Face для точной настройки модели с помощью контролируемого обучения, что адаптирует общее понимание языка к потребностям системы технической поддержки [7].

Используя эти методы, интеллектуальная система может эффективно обрабатывать входящие запросы на техническую поддержку. Это повысит скорость и точность ответов и позволяет сотрудникам сосредоточиться на более сложных проблемах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании автоматизации техподдержки учреждения высшего образования было выявлено, что применение нейронных сетей может значительно повысить эффективность обработки запросов. Традиционные методы работы службы поддержки часто сталкиваются с проблемами, связанными с повторяющимися задачами и ограниченными ресурсами, что приводит к увеличению времени ожидания и снижению удовлетворенности пользователей.

Предложенное решение основывается на использовании предварительно обученной модели, которая способна адаптироваться к специфическим задачам техподдержки. Автоматизация с использованием нейронных сетей представляет собой перспективное направление для повышения эффективности и качества работы служб поддержки в образовательных учреждениях.

1. Щербаков, Д. И. Эффективное применение технических средств в учебном процессе / Д. И. Щербаков, Е. И. Бааяк, С. Н. Нестеренков // Инженерное образование в цифровом обществе: материалы Междунар. науч.-метод. конф. (Республика Беларусь, Минск, 14 марта 2024 года). В 2 ч. Ч. 1 / редкол.: Е. Н. Шнейдеров [и др.]. – Минск : БГУИР, 2024. – С. 113–115.
2. A brief overview of ChatGPT: The history, status quo and potential future development / T. Y. Wu [et al.]. // IEEE/CAA J. Autom. Sinica. – 2023. – Vol. 10, № 5. – P. 1122–1136.
3. Ray, P. P. ChatGPT: A comprehensive review on background, applications, key challenges, bias, ethics, limitations and future scope / P. P. Ray // Internet of Things and Cyber-Physical Systems. – 2023. – Vol. 3. – P. 121–154.
4. Tunstall, L. Natural language processing with transformers / L. Tunstall, L. von Werra, T. Wolf. – Revised edition. – Sebastopol : O'Reilly Media, Inc., 2022.
5. Жалейко, Д. А. Нейросети в анализе эмоционального состояния и развития персонала и его влияния на успех проектов / Д. А. Жалейко, С. Н. Нестеренков, И. Г. Скиба // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сб. науч. ст. X Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 13 марта 2024 года). В 2 ч. Ч. 1 / редкол.: В. А. Богущ [и др.]. – Минск : БГУИР, 2024. – С. 373–376.
6. Empirical Study of Pre-Trained Model Reuse in the Hugging Face Deep Learning Model Registry / W. Jiang [et al.]. // 2023 IEEE/ACM International Conference on Software Engineering (ICSE). – 2023. – P. 2463–2475.
7. Pre-Trained Language Models and their applications / H. Wang [et al.]. // Engineering. – 2023. – Vol. 25. – P. 51–65.

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ «ТЕСТ-ПОЙНТЫ» В ПРОЦЕССЕ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

Белаш В. А., Плаксин М. А., Сохранных С. А.

Кафедра информационных технологий в бизнесе,

факультет социально-экономических и компьютерных наук,

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики (Пермский филиал)

Пермь, Российская Федерация

E-mail: vabelash@edu.hse.ru, mapl@list.ru, sokhrannykhs@gmail.com

*В статье исследована возможность применения методики «Тест-пойнты» (автор Мас Коно (Mas Kono)) для улучшения управления процессом тестирования программного продукта. Методика позволяет дать более точную (по сравнению с традиционными методами) оценку объема работ по тестированию (общего и уже выполненного), позволяет определить наиболее результативный порядок выполнения запланированных тест-кейсов и оценить достигнутый в процессе тестирования уровень надежности.*

## ВВЕДЕНИЕ

Для управления процессом тестирования компьютерной программы представляет интерес ответ на следующие вопросы:

1. В каком порядке следует выполнять запланированные тест-кейсы, чтобы процесс тестирования был наиболее результативным?
2. Каким образом можно оценить долю уже выполненного тестирования в общем объеме работ по тестированию? (Сколько еще осталось протестировать?)
3. Как можно оценить уровень надежности программы, достигнутый в результате уже выполненной части тестирования? (Стоит ли прекратить процесс тестирования и передать программу заказчику?)

В большинстве случаев для ответа на эти вопросы используется информация о количестве запланированных тест-кейсов и их приоритете. Не учитывается явно сложность тестируемых модулей, сложность самих тест-кейсов, степень новизны модулей (новые или уже протестированные ранее) и пр. Единственный инструмент, имеющийся для учета всех этих характеристик, – это приоритет тест-кейса. Но его явно недостаточно.

В [1] описана методика «тест-пойнтов» (автор Мас Коно (Mas Kono)), которая позволяет дать на перечисленные вопросы значительно более обоснованный ответ. Далее описывается сама эта методика и опыт ее применения.

### I. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ «ТЕСТ-ПОЙНТОВ»

В технологии Скрам [2] для оценки трудоемкости решаемых задач используется специальная единица – «стори-пойнт». По аналогии со «стори-пойнтами» в данной методике для оценки тест-кейсов водится единица «тест-пойнты». Делается это так.

Каждому тест-кейсу (экспертным путем) приписывается набор атрибутов. Например, сложность тестируемой части программы, сложность самого тест-кейса, вид тестирования (дымовое,

санитарное, регрессионное и др.) и т.д. Каждому атрибуту (экспертным путем) приписывается некоторое количество баллов, именуемых «тест-пойнтами». Это количество может быть определено раз и навсегда для всего процесса тестирования или меняться от одного тестового прогона к другому. В первом случае атрибуты называются статическими, во втором – динамическими или активными. Пример статического атрибута – сложность тестируемого модуля, пример динамического – вид тестирования. Суммарный вес всех атрибутов определяет вес тест-кейса. Суммарный вес всех тест-кейсов характеризует процесс тестирования.

Выполнять тест-кейсы рекомендуется в порядке убывания веса. В первую очередь будут выполнены тест-кейсы, наиболее значимые с точки зрения результативности процесса тестирования. Для отслеживания процесса тестирования рекомендуется применять диаграмму сгорания (аналогично тому, как в технологии Скрам диаграмма сгорания применяется для отслеживания процесса работы в ходе спринта). По оси абсцисс откладываем время работы, а по оси ординат – суммарный вес еще не выполненной части процесса тестирования. Пример диаграммы сгорания приведен ниже.

«Составной» вес в тест-пойнтах претендует на достаточно точную оценку значимости тест-кейса. Диаграмма сгорания показывает прогресс процесса тестирования. Суммарный вес оставшихся тест-кейсов характеризует рискованность прекращения тестирования. Таким образом, мы имеем информацию для ответа на все три поставленные выше вопроса.

### II. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ

Перейдем к демонстрации указанной методики на примере системы по ведению музыкального каталога. Система многопользовательская. Различаются три типа пользователей: обычный, администратор каталога и администратор систе-

мы. Пользователь может искать треки в каталоге различными способами: по названию, по автору, по альбому, по жанру, также он может добавлять треки в избранное, чтобы получать быстрый доступ. Администратор каталога имеет те же возможности, что и обычный пользователь, но ещё может редактировать, добавлять или удалять информацию о треках, жанрах, авторах, альбомах, лейблах. Администратор системы обладает всеми возможностями администратора каталога, но также может изменять роли пользователей. Основная цель системы для пользователя – удобный доступ и структурирование набора треков.

Система состоит из двух основных модулей: музыкальный каталог и личный кабинет (личный кабинет считается более важным).

Тест-кейсам были назначены два статических атрибута (модуль и сложность разработки функции) и три динамических (усилия по проведению теста, вид тестирования и важность правильной работы тестируемой функции для текущего релиза). В табл. 1 перечислены содержательные значения атрибутов и их оценка в тест-пойнтах (тп) по шкале от 0 до 10. Более подробное обсуждение набора атрибутов и их значений не являются предметом данного доклада.

Таблица 1 – Атрибуты и веса в тест-пойнтах

Атрибут	Знач.1	тп	Знач.2	тп	Знач.3	тп
Модуль	Каталог	5	ЛК	9		
Слож-ть	Низк.	1	Сред.	4	Выс.	8
Усилия	Низк.	2	Сред.	5	Выс.	10
Вид	Регресс	4	Дым	5	Нов.	9
Важ-ть	Низк.	1	Сред.	6	Выс.	10

В ходе проведения оценки объёма тестирования был составлен набор тест-кейсов. После чего каждый кейс оценивался по выявленным атрибутам с расстановкой весов, а также с указанием «идеального» времени тестирования в часах. В табл. 2 изображена расстановка весов в рамках рассматриваемой задачи. В итоге была получена сумма тест-пойнтов для каждого кейса, с помощью которой расставлены приоритеты и оценён общий объём работы.

Таблица 2 – Список тест-кейсов

№	Название	Часы	Модуль	тп	Слож-ть	тп	Усилия	тп	Вид	тп	Важ-ть	тп	∑
1	CRUD Исп-ль	3	Каталог	5	Сред.	4	Сред.	5	Новый	9	Сред.	6	29
2	CRD Избр-ое	2	Каталог	5	Сред.	4	Низк.	2	Новый	9	Выс.	10	30
3	CRU Жанр	2	Каталог	5	Низк.	1	Низк.	2	Новый	9	Низк.	1	18
4	CRUD Лейбл	3	Каталог	5	Низк.	1	Сред.	5	Новый	9	Сред.	6	21
5	CRUD Релиз	2	Каталог	5	Выс.	8	Сред.	5	Новый	9	Сред.	6	33
6	CRUD Трек	3	Каталог	5	Выс.	8	Выс.	10	Новый	9	Выс.	10	42
7	Log in	2	ЛК	9	Сред.	4	Низк.	2	Новый	9	Выс.	10	34
8	Log out	1	ЛК	9	Низк.	1	Низк.	2	Новый	9	Сред.	6	27
9	Обн-е токена	2	ЛК	9	Низк.	1	Низк.	2	Новый	9	Сред.	6	27
10	Регистрация	3	ЛК	9	Выс.	8	Выс.	10	Новый	9	Выс.	10	46
11	Подтв-е почты	2	ЛК	9	Сред.	4	Выс.	10	Новый	9	Выс.	10	42
12	Смена пароля	2	ЛК	9	Сред.	4	Выс.	10	Новый	9	Сред.	6	38
13	Смена роли	1	ЛК	9	Низк.	1	Сред.	5	Новый	9	Выс.	10	34
14	Восст-е пароля	2	ЛК	9	Сред.	4	Сред.	5	Новый	9	Сред.	6	33

На рис. 1 изображена диаграмма сгорания, описывающая процесс тестирования. Лучший вариант подразумевает, что тест-кейсы выполнялись строго в порядке убывания значимости и каждый из тестов проходил с первого раза за «идеальное» время. В реальности это не так. Из-за отладки, регрессионного тестирования, отклонений от «идеального» времени объём работы уменьшается нестабильно. Небольшие ошибки приводят к незначительным замедлениям (новое переходит на регресс), критические – к скачкам.

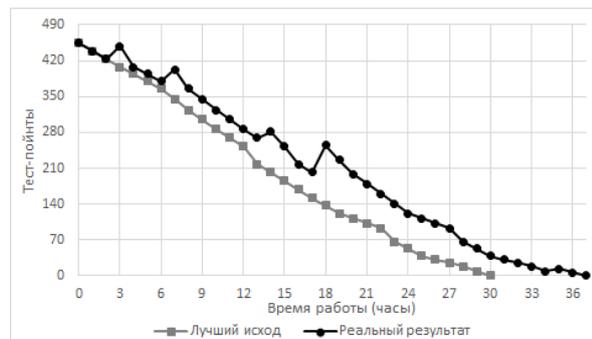


Рис. 1 – Диаграмма сгорания тестирования

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ключевым преимуществом методики «тест-пойнтов» является определение лучшего порядка тестирования (выполнение в первую очередь наиболее значимых тест-кейсов) и оценка объёма работы, общего и оставшегося. При обращении руководителя проекта к тест-менеджеру в любой момент времени, тест-менеджер может оценить долю оставшейся работы и оставшееся время, а также значимость тест-кейсов, которые остались невыполненными.

1. Need a Testing Metric? Put Points on Your Test Cases [Electronic resource]. – Mode of access: <https://responsibleautomation.wordpress.com>. – Date of access: 23.10.2024.
2. Scrum Guide [Electronic resource]. – Mode of access: <https://scrumguides.org/scrum-guide.html>. – Date of access: 23.10.2024.

# АНАЛИЗ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ РАЗЛОЖЕНИЯ НА ПЕРИОДИЧЕСКУЮ И ШУМОПОДОБНУЮ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Бранцевич П. Ю., Леванцевич В. А., Кулик А. В.  
Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: branc@bsuir.edu.by, lvn@bsuir.by

*Обоснована актуальность контроля вибрационного состояния технических объектов. Анализируются технические средства виброконтроля. Предлагается метод анализа вибрационных сигналов, основанный на его декомпозиции в виде периодической и шумоподобной компонент, определении их параметров и выявления вибрационных всплесков и возмущений.*

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших параметров, характеризующих состояние технических объектов, являются параметры вибрации. Мониторинг параметров вибрации позволяет выявлять изменения состояния наблюдаемых механизмов и агрегатов в ходе их эксплуатации при изменении режимов работы и нагрузок. Однако этого недостаточно для решения задач технической диагностики и прогнозирования. Если стоит задача создания системы проактивного технического обслуживания оборудования, то возникает потребность тщательного изучения изменений вибрационного состояния технических объектов на разных режимах работы в течение их эксплуатации, обнаружения редких кратковременных изменений структуры вибрационного сигнала и выявления причинно-следственных связей между их появлением и развитием дефектов. Для этого осуществляется регистрация и анализ непрерывных вибрационных сигналов, отражающих состояние объекта, на протяжении длительных временных интервалов (часы и даже сутки) [1].

## 1. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Для решения задач по улучшению вибрационного контроля, мониторинга, оценки технического состояния турбоагрегатов Белорусской энергосистемы лабораторией «Технической диагностики» НИЧ БГУИР была предложена концепция построения компьютерных измерительно-вычислительных комплексов (ИВК). Компьютер является основным элементом такого ИВК, а его функциональность определяется программным обеспечением, разрабатываемым под конкретные производственные задачи и достаточно просто модифицируемым при изменении или расширении функциональных требований. Для преобразования аналоговых сигналов в цифровые используется универсальный модуль АЦП, подключаемый на стандартную шину компьютера и передающий данные в компьютер в режиме реального масштаба времени. На входы АЦП могут подключаться

выходы любых первичных информационных каналов, которые преобразуют изменения физических величин в электрический сигнал тока или напряжения [2].

Предложена структура ИВК для работы в режиме реального времени с групповым переключением каналов для многоочечного контроля многоопорного механизма или агрегата. Разработано несколько модификаций ИВК серии «Лукомль».

Проводя анализ формы вибрационных сигналов, отражающий интенсивность механических колебаний корпусных элементов механизмов роторного типа, функционирование которых предполагает вращательное движение, и их амплитудных спектров, можно заметить, что в большинстве случаев такие вибрационные сигналы содержат периодическую компоненту, состоящую из гармоник, кратных частоте вращения, и некоторую шумоподобную составляющую.

## II. РЕАЛИЗАЦИЯ

С целью более детального исследования предлагается представить исходный вибросигнал в виде суммы периодической и шумоподобной составляющих [3]:

$$x(nt) = p(nt_d + s(nt_d)) = \sum_{m=1}^L A_m \cos(2\pi\kappa_m f_0 n t_d - \phi_m) + s(nt_d), \quad (1)$$

где  $p(nt_d)$  – периодическая составляющая вибрационного сигнала;

$s(nt_d)$  – шумоподобная составляющая вибрационного сигнала;

$n$  – номер дискретного отсчета,  $n = 0, 1, 2, \dots$ ;

$t_d$  – интервал дискретизации;

$f_0$  – частота вращения приводного вала (оборотная частота);

$\kappa_m$  – кратность  $m$ -й гармоники, включенной в периодическую составляющую, относительно  $f_0$ ;

$A_m, f_m, \phi_m$  – амплитуда, частота, начальная фаза  $m$ -й гармоники,  $f_m = \kappa_m f_0$ ;

$L$  – число гармоник, выбранных для периодической составляющей вибросигнала.

Кратность гармоник, входящих в состав периодической составляющей вибросигнала, определяется с учетом параметров подшипников, зубчатых передач, схемы редуктора контролируемого узла и его других конструктивных особенностей. Если точно известна частота  $f_0$ , то амплитуда и начальная фаза  $m$ -й гармоники легко вычисляются с помощью дискретного преобразования Фурье, причем количество дискретных точек преобразования выбирается таким, чтобы интервал анализа был кратным (в рамках возможностей интервала дискретизации) периоду  $f_m$ . Когда частота  $f_0$  известна, периодическая составляющая сигнала  $p(nt_d)$  вычисляется по формуле первого слагаемого выражения (1), а шумоподобная составляющая находится как:

$$s(nt_d) = x(nt_d) - p(nt_d).$$

После разделения вибрационного сигнала на полигармоническую и шумоподобную составляющие определяются параметры каждой из составляющих в отдельности. На рисунке 1 показан исходный вибрационный сигнал, отражающий вибрационное состояние подшипниковой опоры генератора, его периодическая и шумоподобная составляющие. 1.

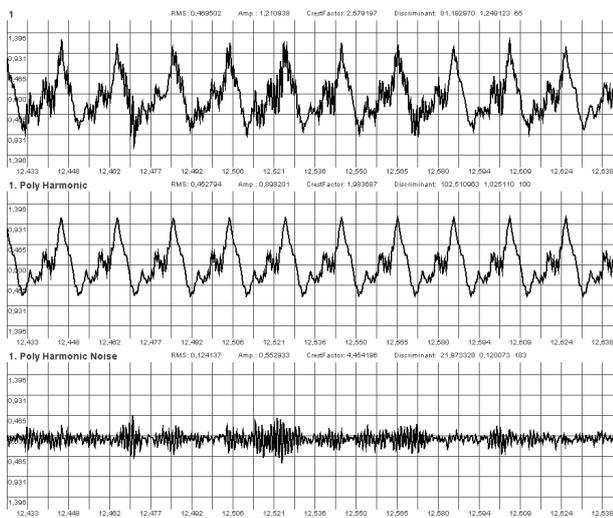


Рис. 1 – Исходный вибросигнал подшипниковой опоры генератора и ее периодическая и шумоподобная составляющие.

В качестве вибрационного всплеска или возмущения можно признать превышение шумоподобной составляющей вибрационного сигнала по абсолютной величине некоторого порогового уровня  $a_p$ . Уровень  $a_p$  определяется для нормального вибрационного состояния контролируемого объекта на временном интервале, соответствующем

4 – 8 оборотам ротора (вала). Можно предложить следующую формулу для его вычисления:

$$a_p = k_e \cdot a_{RMS} PF,$$

где  $k_e$  – повышающий коэффициент, выбирается большим единицы с учетом однородности шумоподобной составляющей;

$a_{RMS}$  – СКЗ шумоподобной составляющей;  
 $PF$  – пик-фактор шумоподобной составляющей.

Если принять значение  $k_e = 1,5$ , то для рассматриваемой ситуации:  $a_p \approx 12$ .

На рисунке 2 показан исходный вибрационный сигнал, его периодическая и шумоподобная составляющие.

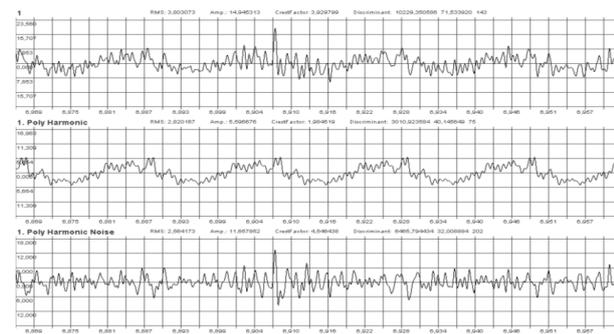


Рис. 2 – Исходный вибросигнал и его периодическая и шумоподобная составляющие в единицах вибро-ускорения при обнаружении возмущений путем сравнения с уровнем, равным  $12m/c^2$ .

Сравнивая абсолютные значения шумоподобной составляющей с уровнем всплеска  $a_p$  и, обнаруживая превышения этого уровня, локализуются моменты всплесков и ударов, присутствующих в исходном сигнале.

### III. ВЫВОДЫ

Использование предложенного метода разложения вибросигналов на периодическую и шумоподобную составляющие позволяет сделать предположение, что изменения параметров периодической составляющей – следствие достаточно существенного изменения технического состояния объекта, а локальные изменения шумоподобной составляющей – это проявление зарождающихся дефектов.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль. Справочник. Том 7. Книга Вибродиагностика /Ф.Я. Балацкий и др. М.: Машиностроение, 2005. – 485 с.
2. Бранцевич, П. Ю. Компьютерные системы и комплексы обработки вибрационных сигналов / П. Ю. Бранцевич. – Минск: Бестпринт, 2023. – 282 с.
3. Бранцевич, П. Ю. Цифровая обработка вибрационных сигналов / П. Ю. Бранцевич. – Минск: Бестпринт, 2022. – 297 с.

# ЭМУЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВИДЕОХОСТИНГА В ПИРИНГОВЫХ СЕТЯХ

Быстрова В. А., Войтешенко И. С.

Факультет прикладной математики и информатики, Белорусского государственного университета  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: veronikabystrova94@gmail.com, voit@bsu.by

На основе использования протокола WebRTC и технологии WebTorrent было разработано приложение, реализующее видеохостинг для использования в федеративных сетях. Проведены эксперименты на шести серверах, запущенных в Docker контейнерах, для изучения распределения нагрузки между серверами.

## ВВЕДЕНИЕ

Пиринговые сети состоят из одноранговых узлов (peer, пир), каждый из которых является не только клиентом, но и выполняет функцию сервера [1]. Такие сети распределяют нагрузку между узлами, тем самым позволяя им предоставлять и потреблять ресурсы внутри сети без необходимости в централизованном сервере.

WebRTC (Web Real-Time Communication) – открытый стандарт и набор технологий, разработанных для обеспечения взаимодействия в реальном времени между браузерами.

WebTorrent – это библиотека на JavaScript, которая комбинирует возможности WebRTC и протокола BitTorrent для передачи данных между веб-браузерами [2].

Наш доклад посвящен проектированию, разработке и исследованию приложения для пиринговых сетей, являющегося функциональным аналогом платформы для видеостриминга PeerTube. PeerTube – это альтернативный сервис видеотрансляций, запущенный в 2018 году [3,4] и широко используемый в децентрализованных социальных сетях (федеративных сетях) [5].

На основе использования протокола WebRTC и технологии WebTorrent, было создано базовое приложение на NodeJS, которое умеет раздавать видео, скачивать видео по заданному хешу и запускать его в плеере.

## I. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Использовалось 6 серверов. Один из серверов выступал в роли владельца оригинального файла, а остальные 5 загружали и в дальнейшем распространяли видео. Дополнительно был задействован один сервер в качестве торрент-трекера. Сервера были запущены в Docker контейнерах с целью обеспечения изоляции и управления ресурсами. Использование контейнеров позволило эмулировать сетевые условия, избежать влияния факторов окружения на результаты эксперимента. Эксперимент проводился на одной операционной системе.

Цель экспериментов – выяснить, как пиринговая сеть распределяет нагрузку между серверами. Сеть тестировалась на видео длиной более

2 часов и размером около 7,5 Гб. В процессе подготовки к эксперименту (рис. 1), данное видео было загружено на первый сервер, который впоследствии инициировал его раздачу с помощью трекера. Полученные инфо-хешы были добавлены на основные пять серверов.

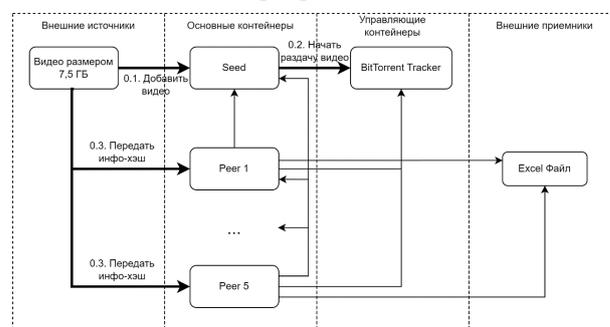


Рис. 1 – Схема взаимодействия на этапе подготовки к эксперименту

Для сбора результатов были использованы свойства торрент-файла, предоставляемые библиотекой WebTorrent. Они включают различные характеристики от имени файла и его инфо-хеша до скорости загрузки и массива всех скачанных фрагментов файла. Для сбора данных был установлен интервал в 1 секунду, в течение которого система регулярно собирала информацию о состоянии торрент-файла.

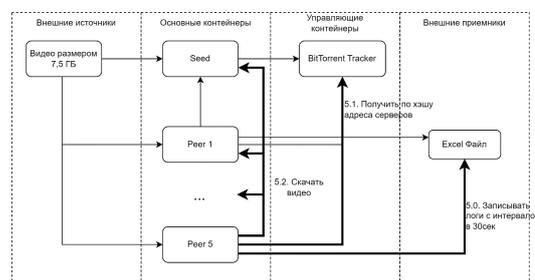


Рис. 2 – Схема взаимодействие серверов на момент скачивания видео пятым сервером

## II. РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные данные записывались в файл Excel с интервалом в 30 секунд с помощью библиотеки ExcelJS, которая позволяет создавать и заполнять электронные таблицы в требуемом

формате. Каждый лог содержал текущий момент времени, прогресс скачивания видео в процентах, скорость загрузки и скорость отдачи видео.

Каждый следующий сервер загружал видео только после завершения загрузки предыдущим сервером. Это позволяло обеспечить «чистоту» результатов, поскольку в определенный момент времени только один сервер активно скачивал видео, в то время как остальные функционировали в режиме раздачи этого видео. На рис. 2 показано взаимодействие серверов на момент скачивания видео пятым сервером.

График (рис. 3) демонстрирует скорость передачи видео первым сервером в зависимости от количества узлов, участвующих в раздаче. Проанализируем его. На начальном этапе видео раздается только одним сервером, который является источником оригинального видео, в то время как анализируемый сервер загружает его. Следовательно, при отсутствии иных потребителей отдача видео будет минимальной. Когда первый сервер завершает загрузку, а второй начинает раздачу, скорость передачи видео достигает своего максимума. По мере увеличения числа узлов, участвующих в раздаче видео, скорость передачи видео первым сервером уменьшается.

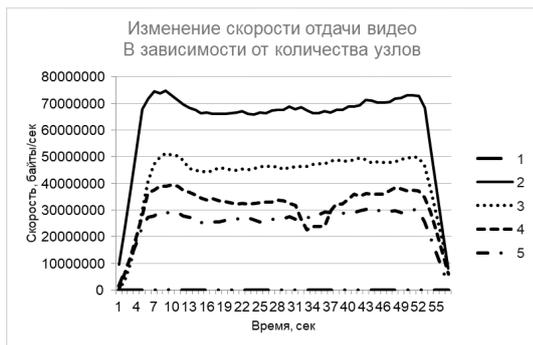


Рис. 3 – Изменение скорости отдачи видео в зависимости от количества узлов



Рис. 4 – Распределение нагрузки между серверами

График (рис.4) показывает, как распределяется нагрузка между серверами. Эксперимент проводился в момент загрузки видео пятым сервером, то есть 4 сервера участвуют в раздаче видео. Скорость передачи видео на протяжении всего

времени исследования была подвержена колебаниями, которые могут быть вызваны различными факторами, такие как текущая загруженность системы, стабильность интернет соединения и другие. Однако, при этом, графики скорости отдачи видео каждого сервера показывают сходство между собой.

Для проверки одного из преимуществ пиринговых сетей – их отказоустойчивости, был проведен следующий эксперимент: в процессе загрузки видео 5-ым сервером был отключен от раздачи первый сервер. На рис.5 изображены изменения скорости раздачи видео на каждом сервере в течение времени. Проанализируем полученные данные. После отключения первого сервера скорость передачи видео на остальных серверах оставалась на прежнем уровне в течение некоторого времени. Это связано с тем, что трекер не мгновенно обнаружил отключение сервера. Только через некоторое время трекер запросил статус отключенного сервера и не получил ответа. После этого наблюдалось постепенное увеличение скорости передачи видео на других серверах. В среднем скорость увеличилась на 10 Мбайт/сек. При этом нагрузка на сервера распределилась равномерно. Таким образом, можно сделать вывод, что сеть успешно справилась с отказом одного из узлов.

Разработанное в процессе выполнения данного исследования программное обеспечение, включающее приложение видео хостинга и макет федеративной социальной сети для его размещения, можно найти на [github.com](https://github.com) [6].

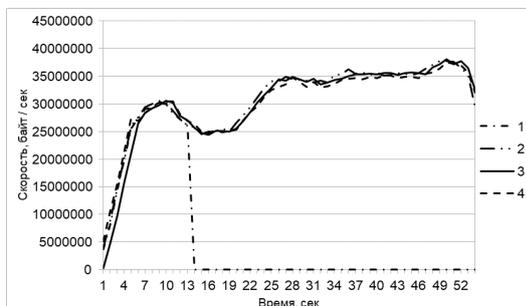


Рис. 5 – Изменение скорости передачи видео при отключении одного сервера

1. Peer-to-Peer Computing / Dejan S. Milojevic [и др.]. – HP Laboratories Palo Alto, 2003. – 51 p.
2. WebTorrent Documentation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://webtorrent.io/docs>. – Date of access: 28.04.2024.
3. PeerTube Documentation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://docs.joinpeertube.org>
4. Peer-to-Peer доставка видео на базе WebRTC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/jugru/articles/693956/>
5. Fediverse [Electronic resource]. – Mode of access: <https://fediverse.party>
6. LemonTube [Electronic resource]. – Mode of access: <https://github.com/BystrovaV/LemonTube>

# ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СБОРА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КООРДИНАЦИИ У ДЕТЕЙ

Глушаченко Н. С., Деменковец Д. В., Аносов В. С.  
Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Учреждение здравоохранения «6-я городская клиническая больница»  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: nglushachenko1@gmail.com, Demenkovets@bsuir.by, Aviktor8@gmail.com

*В докладе описываются функциональные возможности программного комплекса для обработки и визуализации данных, полученных аппаратным комплексом в ходе исследования координации детей с нарушениями вестибулярного аппарата.*

## ВВЕДЕНИЕ

Нарушения опорно-двигательного аппарата у детей являются актуальной проблемой, требующей комплексного подхода к реабилитации. В отличие от взрослых, большинство ортопедических нарушений детского возраста поддаются коррекции лечебной физической культурой. Низкая заинтересованность детей в качественном выполнении однотипных упражнений резко снижает эффективность лечения и реабилитации.

Одним из решений в этой области является использование координационно-реабилитационного комплекса, который в «игровой форме» применим для лечения и профилактики динамических ортопедических нарушений стоп и позвоночника, реабилитации после перенесенных травм, тренировки вестибулярного аппарата, координации, равновесия и анализа динамики реабилитации и восстановления у детей.

Использование программно-аппаратного комплекса предоставляет возможность сбора и анализа данных. Полученные данные позволяют оценить клиническую эффективность применяемых методик и индивидуально адаптировать программу реабилитации.

## I. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ СБОРЕ ДАННЫХ

Аппаратный комплекс представляет собой блок, встраиваемый в балансировочную платформу. Платформа с установленным на нее аппаратным комплексом изображена на рисунке 1.

Для связи с программным комплексом был использован протокол TCP, обеспечивающий гарантированную доставку данных без потерь. За сетевое взаимодействие отвечает отдельный Wi-Fi модуль. При этом, конфигурирование балансировочного диска может выполняться при помощи мобильного телефона. IP адрес, выделенный устройству, дополнительно отображается на OLED дисплее.



Рис. 1 – Балансировочный диск с аппаратным комплексом

Сбор данных осуществляется при помощи акселерометра, измеряющего углы наклона по трем осям: крену, тангажу и рысканию – трем углам поворота, соответствующим трём углам Эйлера, которые задают ориентацию объекта относительно нормальной системы координат (относительно его центра инерции по трём осям) [1].

Для обеспечения корректного отображения данных между разными разрешениями экрана, вычисляемые числовые характеристики рассчитываются только в углах наклона балансировочной платформы. Вычисления в оконных координатах приведут к непереносимости результатов. Угловые координаты не связаны с разрешением экрана пользователя и зависят только от заранее зафиксированных углов наклона диска [2].

При анализе используются как все 3 угла, так и попарные комбинации углов. Для графического представления в двумерном пространстве необходимо спроецировать пары углов на экран средства просмотра. В случае анализа нарушений опорно-двигательного аппарата интерес представляют наклон по горизонтальной и вертикальной осям балансировочного диска [2].

## II. АНАЛИЗИРУЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АЛГОРИТМЫ ИХ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

При исследовании нарушений опорно-двигательного аппарата возникает необходимость анализировать способность испытуемого изменять угол наклона балансировочного диска не

теряя равновесия [3]. В связи с этим в процесс сбора данных были добавлены целевые области, которые должен достичь испытуемый. Следующая целевая область устанавливается при установлении испытуемым равновесия в текущей.

Зная угловые координаты и учитывая, что данные от балансировочного диска приходят через равные промежутки времени, возможно рассчитать частоту пребывания точки в заданном диапазоне координат экрана. Для этого необходимо выполнить перевод в полярную систему координат [4]. Разделив круг на заданное число сегментов, можно рассчитать число точек, попадающих в каждый диапазон углов. Это количество можно интерпретировать как интенсивность пребывания испытуемого в определенном положении. Для визуализации интенсивности строится диаграмма.

При построении программным путем диаграмма представляется как многоугольник. Алгоритм построения заключается в следующем: задается радиус диаграммы, далее рассчитывается угол центра сегмента, в котором балансировочная платформа находилась чаще всего. Под этим углом выполняется построение точки многоугольника. Расстоянием от центра до точки многоугольника принимается радиус. Далее на основании радиуса и угла точки вычисляются ее оконные координаты. Для оставшихся областей аналогично рассчитывается их угловой центр, однако вместо радиуса расстоянием принимается произведение радиуса на отношение числа точек в данной области к числу точек в области с наибольшей частотой. Таким образом формируется прямая зависимость радиуса от числа точек, что позволяет визуализировать интенсивность.

Подобная диаграмма строится для каждой целевой области (мишени) отдельно, считая отклонения от ее центра. Для этого центр координат переносится в центр мишени и вычисляются полярные координаты относительно этого центра. Это позволяет получить углы отклонения. При этом возникает необходимость отсекаать точки, которые находятся внутри области, то есть имеют полярный радиус, меньший, чем некоторый заранее заданный минимум. Для этого используется полярный радиус [4]. Точки с радиусом меньшим, чем радиус области, не учитываются при формировании диаграммы.

Пример построенной по описываемому алгоритму диаграммы изображен на рисунке 2. На указанном примере можно заметить, что чаще всего балансировочный диск был смещен в III координатную четверть относительно центра целевой области, а сама целевая область находилась на границе I и IV координатных четвертей.

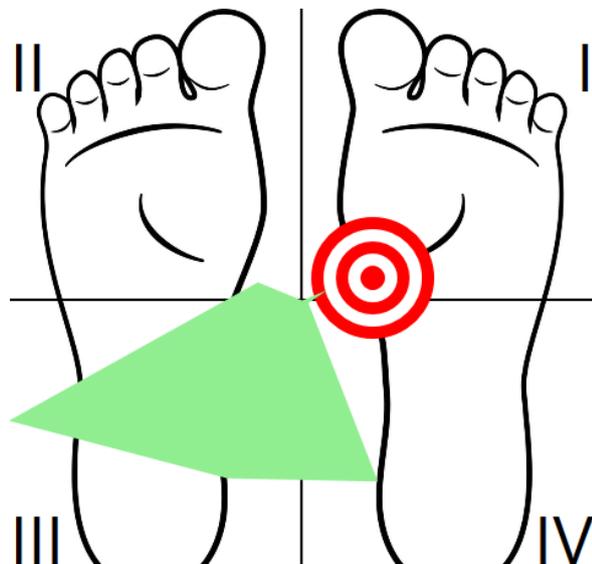


Рис. 2 – Пример построенной диаграммы по координатным четвертям

Помимо анализа углов наклона балансировочного диска была реализована возможность анализа характера движения испытуемого при сборе данных. С этой целью выполняется вычисление скорости сближения с целевой областью. Эта скорость представляет собой отношение пройденного пути ко времени движения. При этом углы наклона никак не связаны с разрешением экрана и позволяют наиболее точно измерить реакцию и способность менять угол наклона не теряя равновесия.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанное аппаратно-программный комплекс позволяет визуализировать численные данные, получаемые от координационно-диагностического модуля. Были выбраны требуемые для диагностики числовые характеристики, реализованы алгоритмы их расчета и графического представления. Эти данные могут в дальнейшем быть использованы при оценке нарушений опорно-двигательного аппарата и вестибулярной системы у детей.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Углы Эйлера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://old.bigenc.ru/physics/text/4940239>. – Дата доступа: 20.10.2024.
2. Способ сбора данных при использовании координационно-реабилитационного комплекса для исследования координации детей с нарушением опорно-двигательного аппарата / Глушаченко Н. С., Деменковец Д. В., Куйко Н. С // Компьютерные системы и сети : сборник статей 60 -й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22 –26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 710–715.
3. Гаже П.-М., Вебер Б., Постурология. Регуляция и нарушения положения тела человека. – 2008. – С. 113–139.
4. Полярная система координат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bigenc.ru/c/poliarnaia-sistema-koordinat-631683>. – Дата доступа: 20.10.2024

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СОЦИАЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Земляник Р. В.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: rzemlanik@gmail.com

*Рассматривается использование искусственного интеллекта в социальных исследованиях, с акцентом на влияние объема выборки на точность результатов. Анализируется роль больших языковых моделей в создании экспериментальных условий и генерации данных.*

## ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия искусственный интеллект (ИИ) стал неотъемлемым компонентом научных исследований, включая такие дисциплины, как социология, психология и другие социальные науки. Его внедрение открыло широкие перспективы для улучшения качества исследований, ускорения анализа данных и разработки более точных прогнозов. Тем не менее, наряду с позитивными аспектами, возникает ряд этических и методологических проблем. Одной из наиболее обсуждаемых тем является возможность использования ИИ для манипуляции данными и подделки результатов социальных экспериментов. Если ИИ используется некорректно или без должного контроля, это может привести к искажению результатов, что потенциально негативно сказывается на науке и общественных мнениях.

Цель данной статьи заключается в анализе того, как ИИ может воздействовать на результаты социальных исследований и опросов, как использование больших языковых моделей (LLM) может повлиять на точность моделирования, а также каким образом объем выборки и другие параметры могут оказывать влияние на результаты. Помимо этого, будут обсуждаться возможные последствия для научного сообщества и общества в целом, а также предложены пути смягчения потенциальных рисков, связанных с внедрением ИИ в социальные исследования.

### I. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АНАЛИЗЕ ДАННЫХ

Machine learning (ML) является подмножеством искусственного интеллекта и представляет собой ключевой элемент анализа больших данных. С его помощью можно строить модели, которые позволяют не только анализировать имеющиеся данные, но и делать прогнозы. При этом важно отметить, что не все решения на основе ИИ зависят от машинного обучения. Существует множество примеров, когда ИИ применяется без использования МО, особенно в задачах, связанных с автоматизацией процессов или решениями, основанными на заранее заданных правилах.

Тем не менее, применение ИИ в анализе данных открывает широкие возможности для ученых. Например, в медицине ИИ может ускорить процесс диагностики, анализируя огромные объемы медицинских данных и выявляя паттерны, которые могут ускользнуть от внимания врачей. Это позволяет специалистам сосредоточиться на более сложных и индивидуальных аспектах лечения пациентов. Таким образом, ИИ не заменяет человека, а дополняет его, предоставляя инструменты для более глубокого анализа и лучшего понимания проблемы.

Large language models (LLM) являются классом ИИ, который обучен на огромных объемах текстовых данных и способен имитировать естественную человеческую речь, формулируя осмысленные ответы на широкий спектр вопросов. Такие модели обладают потенциалом для применения в социальных науках, где они могут выступать в роли инструментов для проведения опросов, анализа текстов и прогнозирования социальных явлений. LLM способны имитировать сложные процессы, такие как социальное взаимодействие, переговоры, принятие решений и эмоциональная поддержка, что делает их полезными в исследовательских целях.

### II. СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Искусственный интеллект оказывает серьезное влияние на социальные науки, в частности на проведение и интерпретацию социальных экспериментов. Один из главных вопросов заключается в том, каким образом ИИ может изменять или искажать результаты экспериментов. В ряде случаев, если ИИ используется для обработки данных без должного контроля, это может привести к манипуляции результатами. Например, если модели обучены на неполных или предвзятых данных, они могут выдавать неточные или искаженные прогнозы.

Подделка данных с помощью ИИ может иметь значительные последствия на уровне общества. Если люди начинают полагаться на ИИ в процессе принятия решений, особенно в условиях неопределенности или недостатка информации,

это может привести к распространению дезинформации. В таком случае результаты научных исследований могут быть искажены, что подрывает доверие не только к отдельным исследованиям, но и к научному методу в целом. Это особенно опасно в социально значимых областях, таких как политика, медицина и экономика.

С другой стороны, ИИ может быть полезным инструментом для социологов и других исследователей. Например, в социальных науках часто проводится множество экспериментов, связанных с влиянием текста, изображений или других стимулов на поведение участников. Генеративные модели ИИ могут использоваться для создания таких стимулов, что делает эксперименты более точными и достоверными. Более того, они помогают исследователям соблюдать конфиденциальность, заменяя реальные данные синтетическими, что особенно важно в контексте этических норм.

Тем не менее, применение ИИ в исследованиях сопряжено с рядом рисков. Во-первых, слишком сильная зависимость от ИИ может привести к иллюзии понимания, когда исследователи начинают считать, что их модели точно отражают реальность, даже если это не так. Во-вторых, существует опасность создания научной монокультуры, когда одни методы и подходы начинают доминировать над другими, что снижает инновационность науки и увеличивает вероятность ошибок.

### III. ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМА ВЫБОРКИ НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗОВ

Один из ключевых факторов, определяющих точность прогнозов и моделей, основанных на ИИ, – это объем выборки. В исследованиях, основанных на больших языковых моделях, объем данных, на которых обучена модель, напрямую влияет на ее способность точно предсказывать ответы на вопросы или моделировать поведение участников экспериментов.

Увеличение объема обучающих данных приводит к улучшению точности моделей. Например, при моделировании данных опросов использование большего количества вопросов для обучения модели позволяет значительно повысить ее способность корректно предсказывать ответы на другие вопросы. Это особенно важно в условиях, когда часть данных отсутствует или когда респонденты не отвечают на все вопросы. В таких случаях ИИ может использоваться для заполнения отсутствующих данных, для предсказания

ответов на те вопросы, которые не были заданы респондентам напрямую.

Одно из исследований показало, что даже при небольшом объеме данных (например, при наличии только 10 вопросов для обучения) модели могут достигать достаточно высокой точности ( $AUC > 0,8$ ). Однако увеличение числа вопросов до 100 позволяет добиться еще более высокой точности ( $AUC = 0,83$ ). Это означает, что количество данных, на которых обучена модель, напрямую связано с ее производительностью.

Применение таких моделей может быть полезным при разработке опросов и экспериментов, где необходимо учитывать возможность неявки респондентов на опрос или неполные ответы. Например, вместо того чтобы задавать каждому респонденту один и тот же набор вопросов, исследователи могут использовать ИИ для предсказания ответов на дополнительные вопросы, основываясь на уже полученных данных.

## IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеграция ИИ в социальные исследования открывает новые горизонты, но также ставит перед учеными и обществом ряд вызовов. Несмотря на то, что ИИ может значительно улучшить точность прогнозов и моделирование данных, его использование сопряжено с рисками, такими как искажение данных, подмена реальных данных синтетическими и иллюзия понимания. Важно разработать механизмы, которые позволят минимизировать эти риски и обеспечить, чтобы ИИ использовался в исследованиях ответственно и с максимальной пользой для науки и общества.

1. Can large language models help predict results from a complex behavioural science study? [Electronic resource] / S. Lippert, A. Dreber, M. Johannesson, W. Tierney, W. Cyrus-Lai, E. L. Uhlmann, Emotion Expression Collaboration, T. Pfeiffer –Royal society open science, 2024. – Mode of access: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.240682>. – Date of access: 11.10.2024.
2. AI Should Augment Human Intelligence, Not Replace It [Electronic resource] / D. De Cremer, G. Kasparov–Harvard Business Review, 2021. – Mode of access: <https://hbr.org/2021/03/ai-should-augment-human-intelligence-not-replace-it>. – Date of access: 13.10.2024.
3. Artificial intelligence and illusions of understanding in scientific research [Electronic resource] / L. Messeri, M. J. Crockett–Nature 627, 2024. – Mode of access: <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07146-0> – Date of access: 13.10.2024.

# ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ SARIMAX ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОСТОЕВ ОБОРУДОВАНИЯ

Евдокимов В. Г., Ломако А. В.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: vigandvdk@gmail.com, lavlot@bsuir.by

*Предлагается усовершенствованный алгоритм прогнозирования простоев с динамическим набором экзогенных факторов на основе модифицированной модели SARIMAX, что позволит учитывать специфические условия эксплуатации оборудования и снижать общие затраты на техническое обслуживание. Оценивается эффективность применения модели SARIMAX для прогнозирования простоев промышленного оборудования с учетом внешних факторов и сезонных колебаний.*

## ВВЕДЕНИЕ

Простои оборудования на промышленных предприятиях могут значительно снижать производственную эффективность и приводить к финансовым убыткам. В условиях информатизации задача прогнозирования простоев становится особенно важной. Традиционные методы, такие как FMEA, FMECA и FMEDA, помогают выявить критические точки в эксплуатации оборудования, но имеют ограничения, так как в основном направлены на анализ уже произошедших событий [1].

Современные методы анализа временных рядов, такие как ARIMA и SARIMA, учитывают временные зависимости и сезонные колебания [2], что делает их полезными для краткосрочного прогнозирования. Однако они не всегда эффективно учитывают внешние факторы, влияющие на работу оборудования

## I. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Традиционные методы анализа отказов, такие как FMEA, FMECA и FMEDA, направлены на выявление и оценку последствий отказов оборудования. Эти методы хорошо подходят для анализа потенциальных сбоев и их критичности, однако они не предоставляют средств для точного прогнозирования моментов времени возникновения простоев. В условиях научно-технического прогресса и быстрого развития технологий требуется более гибкий подход, который позволит не только анализировать прошлые данные, но и предсказывать будущие события. В ходе исследования были также рассмотрены модели временных рядов, такие как ARIMA и SARIMA, которые широко используются для прогнозирования временных зависимостей. Модель ARIMA учитывает прошлые значения ряда и ошибки прогнозирования, а SARIMA добавляет возможность работы с сезонными компонентами. Была выявлена проблема, заключающаяся в том, что эти модели эффективны только для краткосрочных прогнозов и оказываются недостаточными при необхо-

димости учитывать внешние факторы, такие как изменения в условиях эксплуатации оборудования, организационные факторы и т.д. Для решения этой проблемы предлагается использование модели SARIMAX, расширяющей возможности SARIMA за счет включения экзогенных переменных, способных учитывать влияние внешних факторов на прогноз.

## II. МОДЕЛЬ SARIMAX

Модель SARIMAX (Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average with eXogenous variables) представляет собой расширение модели SARIMA и позволяет учитывать внешние переменные, которые могут существенно влиять на динамику временного ряда. Это делает модель SARIMAX полезной в тех случаях, когда нужно прогнозировать простои промышленного оборудования, а на работу могут влиять сезонные колебания, внешние условия эксплуатации и множество иных факторов. Формула модели SARIMAX [3]:

$$Y_t = \mu + \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \epsilon_{t-j} + \sum_{k=1}^m \delta_k X_{t-k} + \epsilon_t,$$

где:

- $Y_t$  – значение прогнозируемой переменной в момент времени  $t$ ,
- $\mu$  – среднее значение временного ряда,
- $\phi_1, \dots, \phi_p$  – коэффициенты авторегрессии (AR),
- $\theta_1, \dots, \theta_q$  – коэффициенты скользящего среднего (MA),
- $\epsilon_t$  – случайная ошибка (белый шум),
- $X_{t-1}, \dots, X_{t-k}$  – экзогенные переменные (внешние факторы),
- $\delta_1, \dots, \delta_k$  – коэффициенты экзогенных переменных.

Модель SARIMAX использует как временные зависимости, так и внешние переменные, что позволяет более точно предсказывать простои оборудования. Например, модель может учитывать не только изменения в условиях эксплуатации или внешние факторы, такие как температура, влажность и рабочие нагрузки, но также и

косвенные факторы организационного характера, включая внутреннюю логистику, объем полуфабрикатов, графики поставок или распределение ресурсов. Это делает модель особенно полезной для комплексного и точного прогнозирования простоев в производственных процессах.

### III. АЛГОРИТМ НА ОСНОВЕ SARIMAX

Алгоритм прогнозирования простоев оборудования с использованием модели ARIMAX/SARIMAX включает следующие ключевые этапы, как показано на рисунке 1:

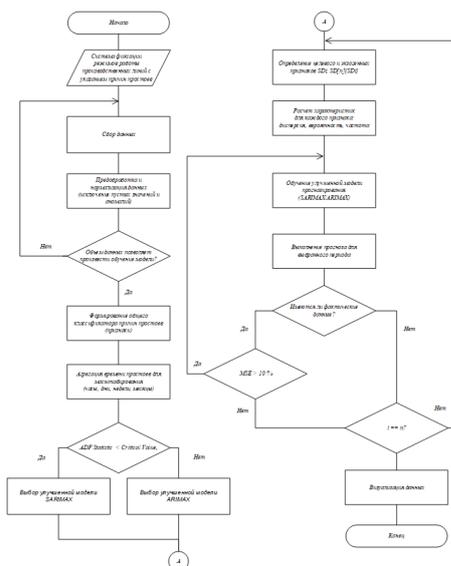


Рис. 1 – Алгоритм прогнозирования на основе ARIMAX/SARIMAX

1. Сбор и обработка данных
2. Формирование классификатора и агрегирование данных
3. Проверка на стационарность ряда
4. Определение целевого и экзогенных признаков
5. Расчет характеристик временных рядов
6. Обучение модели SARIMAX/ARIMAX
7. Прогнозирование
8. Оценка прогнозов

Результаты тестирования показали, что использование модели SARIMAX позволяет более точно прогнозировать простои оборудования по сравнению с традиционными методами, особенно в случаях, когда на работу оборудования влияют внешние факторы. В рамках эксперимента, проведенного на основе эмпирических данных, модель SARIMAX продемонстрировала высокую, достигающую 90%, точность прогнозирования простоев оборудования. Следует заметить, что базовая версия модели в случаях, когда экзогенный признак имеет более сложную нелинейную природу, дает результаты с точностью до 60%, тогда как модифицированная версия, учитывающая частотные и вероятностные характеристики экзогенных признаков, обеспечивает более надёжные и стабильные прогнозы, значительно снижая разброс точности.



Рис. 2 – Сравнительный график результатов прогнозирования

Формула модифицированной модели SARIMAX:

$$Y_t = \mu + \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \epsilon_{t-j} + \sum_{k=1}^m \delta_k (X_{t-k} \cdot \sigma_n \cdot p_{t,n} \cdot f_{t,n}) \cdot I(\sigma_n, p_{t,n}, f_{t,n}) + \epsilon_t$$

где:

- $\sigma_n$  – дисперсия признака  $n$ ,
- $p_{t,n}$  – вероятность признака  $n$ ,
- $f_{t,n}$  – частота признака  $n$ ,
- $I$  – интеграл характеристик признака  $n$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный алгоритм прогнозирования простоев оборудования, основанный на модифицированной модели SARIMAX, имеет высокий показатель эффективности. Однако требуется дальнейшая углубленная проверка алгоритма, поскольку достигнутая в эксперименте точность является нетипично высокой. Необходимо дополнительное тестирование и валидация модели для подтверждения ее устойчивости и обоснования общей применимости. Кроме того, для случаев, когда причины простоев или другие экзогенные факторы заранее неизвестны, целесообразно рассмотреть использование нейросетевых моделей для автоматического выявления и группировки данных, что позволит сформировать перечень экзогенных признаков.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евдокимов, В. Г. Факторы совершенствования алгоритмов прогнозирования простоев оборудования / В. Г. Евдокимов // Информационные технологии и управление : материалы 59-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 17–21 апреля 2023 года. – БГУИР. – Минск, 2023. – № 59. – С. 24–25.
2. Евдокимов, В. Г. Анализ влияния сезонности на простои промышленного оборудования / В. Г. Евдокимов // Информационные технологии и управление : материалы 60-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–26 апреля 2024 года. – БГУИР. – Минск, 2023. – № 60. – С. 22–23.
3. Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., Ljung, G. M. Time Series Analysis: Forecasting and Control // Wiley Series in Probability and Statistics. — John Wiley and Sons, 2015. — 5th ed. — 712 p.

# АРХИТЕКТУРА МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УДАЛЁННОГО ВЫЗОВА МЕТОДОВ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПЛАТФОРМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Киселёв А. И.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: and.kis135@gmail.com

*В статье представлено исследование разработанной архитектуры объектно-ориентированной системы удалённого вызова процедур (удалённого вызова методов) в случае, когда обе стороны используют общую платформу с поддержкой механизма рефлексии. Проведен анализ достоинств и недостатков предложенного решения.*

## ВВЕДЕНИЕ

Неизменно растущее количество многопользовательских приложений и систем на основе микросервисной архитектуры создаёт высокий спрос на решения в области межпроцессорной (межсетевой) коммуникации. В настоящее время существует широкий выбор технологий и стилей межпроцессорного взаимодействия: REST через HTTP (запрос-ответ), брокеры сообщений (событийный подход), базы данных (общие данные) [1].

Одним из способов организации межсетевого взаимодействия является удалённый вызов процедур (RPC). RPC позволяет изменить состояние удалённого процесса путём вызова процедуры в его виртуальном адресном пространстве. Концепция RPC широко применяется, когда требуется взаимодействие между компонентами, которые могут быть как удалёнными, так и локальными относительно друг друга, так как это минимизирует накладные расходы на вызов при отсутствии межпроцессорной коммуникации. В общем случае возможность локальной работы подразумевает реализацию компонентов на одной и той же платформе программирования. В случае объектно-ориентированной платформы используется термин «удалённый вызов метода» (RMI) экземпляра класса.

В данной работе представлено описание разработанной архитектуры системы вызова удалённых методов для общей платформы с поддержкой механизма рефлексии (такие современные платформы программирования, как .NET, Java и др.).

## 1. ОПИСАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ

Разработанная архитектура была спроектирована с учётом следующих нефункциональных требований.

1. Наличие строгой схемы;
2. Независимость от канала передачи данных;
3. Независимость от алгоритма сериализации;
4. Минимальные накладные расходы при отсутствии межпроцессорного взаимодействия.

Для удовлетворения четвёртого требования можно ввести соглашение, что вызов метода объекта, который может привести к межпроцессорному взаимодействию, должен осуществляться через интерфейсную переменную. Если объект представлен локально, его метод будет вызван соответствующим для платформы способом (например, через таблицу виртуальных методов). В случае, когда требуется вызвать метод удалённого объекта, интерфейсная переменная должна содержать прокси-объект, производящий межпроцессорный вызов. Таким образом, выбор между использованием локального экземпляра или объекта-прокси может осуществляться, например, прямо в корне композиции внедрения зависимостей [2].

Отдельно стоит отметить возможность создания прокси-объектов для удалённого вызова через соответствующий механизм платформы, например, DispatchProxy для .NET или InvocationHandler в Java. Широкое распространение подобных механизмов на платформах программирования обусловлено, в том числе, их использованием в аспектно-ориентированном программировании [3].

Наличие строгой схемы позволяет выявлять нарушения контракта межпроцессорного взаимодействия, вызванные несогласованным изменением, добавлением или удалением методов одной из сторон. Использование интерфейсных методов приводит к появлению строгой схемы, где схемой является представление интерфейса в системе типов платформы программирования, что обеспечивает выполнение первого требования.

Кроме того, появляется возможность валидации совместимости удалённых компонентов, например, путём проверки совпадения результатов хэш-функции для упорядоченных уникальных идентификаторов артефактов платформы, содержащих определения используемых интерфейсов.

Выполнение второго требования можно обеспечить путём введения абстракции пакета. Реализация пакета является внешней по отношению к системе удалённого вызова методов и определя-

ется потребностями канала передачи данных. В данном случае пользователь может определить логику маршрутизации произвольной сложности, что обеспечивает такие возможности как, например, работу поверх существующего канала, мультиплексирование и мультикастинг, а также повышает тестируемость получаемого решения.

Для обеспечения независимости пакета от системы удалённого вызова методов требуется механизм взаимодействия между ними. Учитывая характер использования, можно ввести зависимость от реализации интерфейса, представляющего фабрику для создания функций записи аргументов вызываемого метода в пакет, а также функций чтения аргументов из него [4]. Методы интерфейса могут принимать тип аргумента удалённого вызываемого метода в качестве входного параметра. Создаваемые функции инкапсулируют логику сериализации, что позволяет выполнить третье требование.

Независимость алгоритма сериализации предоставляет возможность гибко выбирать между границами применения и производительностью, например, поддерживая сериализацию только примитивных типов данных или типов с глубокой вложенностью и базовых коллекций платформы. Также интерфейс может содержать метод для создания пакета, что позволяет реализовать такие оптимизации, как, например, использование пула объектов.

Одним из ограничений описанной архитектуры является то, что удалённый вызов метода осуществляется через сам метод интерфейса, что означает необходимость представления всей конфигурации вызова в сигнатуре метода и его аргументах. Однако системы типов современных платформ программирования предоставляют широкий набор инструментов для решения подобных задач. Таким образом, пакет, содержащий информацию об удалённом вызове, может быть сконфигурирован следующими способами:

- Название метода;
- Атрибут (аннотация) метода;
- Атрибут (аннотация) параметра;
- Тип параметра.
- Возвращаемое значение.

Определение поведения удалённого вызова метода на основе его названия возможно, но не рекомендуется, так как поддержка работы со схемой именования отсутствует у большинства сред разработки.

Использование атрибута метода подходит для конфигурирования удалённого вызова, например, путём передачи его в метод создания пакета.

Атрибут параметра, как и его тип, могут предоставлять информацию об особом значении

параметра на этапе создания пакета. Вместо того чтобы быть сериализованным вместе с остальными аргументами, значение может интерпретироваться как, например, опция, определяющая гарантии доставки при использовании сетевого протокола, работающего поверх UDP. Такая гибкость достигается за счёт того, что определение пакета и логика работы с ним остаются внешними по отношению к системе удалённых вызовов.

Возвращаемое значение удалённо вызываемого метода может иметь особое значение, требующее специальной поддержки со стороны системы удалённых вызовов. Например, возвращаемое значение типа результата, параметризованного типом данных, может указывать на блокирующий вызов (поток ожидает завершения удалённого вызова и получения результата), тогда как тип `void` – на неблокирующий вызов. Также в качестве типа результата можно использовать тип с поддержкой асинхронного шаблона выполнения платформы [5].

Множество реализаций RPC скрывают от конечного пользователя факт наличия межпроцессорного вызова. Однако со временем такой подход был признан неудачным, поскольку для межпроцессорных вызовов возможны ошибки, нехарактерные для локальных вызовов [1]. Учитывая описанные способы определения методов интерфейса, разработанной архитектуре скорее характерно сокрытие наличия локального выполнения.

## II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана архитектура системы удалённого вызова методов для случаев, когда имеется общая платформа с поддержкой метапрограммирования. Достоинствами данного решения являются высокая модульность и строгая схема, обеспечиваемая системой типов платформы программирования. К недостаткам можно отнести ограничения по платформам для реализации, а также необходимость реализации абстракции пакета конечным потребителем решения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ньюмен, С. Создание микросервисов / С. Ньюмен // Издательство: Питер, 2024. – 624 с.
2. Марк, С. Внедрение зависимостей на платформе .NET / С. Марк // Издательство: Питер, 2021. – 608 с.
3. Мартин, Р. Чистый код: создание, анализ и рефакторинг / Р. Мартин // Издательство: Питер, 2021. – 464 с.
4. Паттерны объектно-ориентированного проектирования / Э. Гамма [и др.]. – СПб.: Питер, 2021. – 448 с.
5. Документация по программированию .NET [Электронный ресурс] / Асинхронный шаблон на основе задач. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/standard/asynchronous-programming-patterns/task-based-asynchronous-pattern-tap> – Дата доступа: 18.10.2024.

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ: ОТ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ К ГЛУБОКИМ НЕЙРОННЫМ СЕТЯМ

Коробова В. М., Скиба И. Г.

Кафедра электронных вычислительных машин,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: vikakorobova2005@gmail.com, i.skiba@bsuir.by

*Машинное обучение прошло значительную эволюцию – от простых регрессионных моделей до современных глубоких нейронных сетей. Первые методы сыграли ключевую роль в формировании основ области. Со временем к ним добавились сложные подходы, которые позволили решать задачи распознавания образов, обработки речи и прогнозирования с высокой точностью. Прогресс в области машинного обучения создал новые возможности для автоматизации, что уже оказывает значительное влияние на самые разные отрасли.*

## ВВЕДЕНИЕ

В 1980-х годах история машинного обучения была бы сосредоточена на экспертных системах, логическом программировании и эвристическом поиске[1]. Эти подходы отражали ранние представления об искусственном интеллекте (ИИ), заложенные на конференции в Дартмуте в 1956 году, когда Джон Маккарти ввел термин «ИИ». Машины использовались для узких задач, таких как шахматы, а идеи о более сложном обучении только зарождались[1].

К началу 2000-х акцент сместился на методы опорных векторов, байесовский вывод и деревья решений. Эти алгоритмы решали задачи классификации и прогнозирования, доминируя в приложениях.

Сегодня, в 2020-х, ключевое внимание уделяется глубоким нейронным сетям (НС), особенно трансформерам. Они, разработанные для обработки естественного языка, нашли применение в распознавании изображений, управлении автономными системами и генеративных моделях. НС, вдохновленные человеческим мозгом, позволили машинам обучаться и адаптироваться, изменяя связи между "нейронами" на основе опыта.

## I. ЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИЯ

В 1805 году Адриен-Мари Лежандр представил то, что сегодня известно как линейная регрессия. Позже Иоганн Карл Фридрих Гаусс также был признан за свои ранние работы, выполненные около 1795 года[1]. Линейная регрессия, существующая более двух веков, состоит из входного слоя с несколькими узлами и выходного слоя, состоящего из одного узла. Каждый входной узел хранит действительное число и соединен с выходом через вес, представляющий собой действительное число.

На тот момент этот метод не назывался линейной регрессией[2]. Вместо этого использовался метод наименьших квадратов, который является математически идентичным современным подхо-

дам. Эти простые модели обеспечивают «поверхностное обучение», в отличие от более сложных моделей глубокого обучения.

Модель линейной регрессии описывается формулой, где предсказанное значение  $y$  вычисляется как сумма произведений входных значений и их соответствующих весов:

$$y = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n + b. \quad (1)$$

Градиентный спуск – один из ключевых методов оптимизации в машинном обучении, позволяющий обновлять веса и смещение модели для минимизации ошибки[2]. Процесс включает вычисление производной функции потерь и ее использование для корректировки весов:

Этот метод стал активно использоваться в 1950-х годах для решения задач минимизации. В 1980-х годах градиентный спуск стал основным инструментом для обучения нейронных сетей. Он продемонстрировал свою эффективность, особенно после публикации алгоритма обратного распространения ошибки в 1986 году.

$$w_j := w_j - \alpha \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (h_{\mathbf{w}}(x^{(i)}) - y^{(i)}) x_j^{(i)}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – скорость обучения. Этот метод стал основным инструментом для обучения нейронных сетей, продемонстрировав свою эффективность в различных областях, от компьютерного зрения до обработки естественного языка.

## II. КЛАССИЧЕСКОЕ МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ

Классическое машинное обучение активно развивалось после линейной регрессии, что привело к созданию ряда новых алгоритмов и методов, расширяющих возможности анализа данных.

В 1970-х годах появился метод деревьев решений, который произвел революцию в области анализа данных. Алгоритм ID3, предложенный

Россом Квинланом в 1986 году, позволял строить деревья решений, которые могут использоваться для принятия решений на основе наборов данных[3]. Деревья решений упрощают интерпретацию результатов, отходя от линейных аппроксимаций.

В 1995 году был представлен алгоритм опорных векторов (SVM), разработанный Владом Сапорву и его коллегами[4]. SVM использует гиперплоскости для разделения классов[4] и стал универсальным инструментом для классификации и регрессии, особенно в высокоразмерных данных. Его способность работать с нелинейными данными благодаря ядровым функциям делает его особенно эффективным.

Случайный лес, предложенный в 1996 году Джереми Куном, использует ансамблевый подход, строя множество деревьев решений и комбинируя их результаты. Этот метод оказался особенно полезным для повышения точности и устойчивости к переобучению[5].

На протяжении 2000-х годов распространение получили вероятностные модели: наивный байесовский классификатор, который делает предположение о независимости признаков и эффективно используется для классификации текстов и спам-фильтрации. Методы ансамблирования, такие как AdaBoost, также стали популярными, объединяя слабые классификаторы для улучшения производительности.

### III. ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ

История глубокого обучения начинается с первых моделей, имитирующих работу человеческого мозга[6]. В 1943 году Уоррен Маккаллок и Уолтер Питтс предложили первую математическую модель нейрона, положившую начало исследованиям нейронных сетей. В 1958 году Фрэнк Розенблатт представил перцептрон — простейшую нейронную сеть для бинарной классификации, которая продемонстрировала возможность обучения на данных.

После периода затишья в 1960-х и 1970-х годах в 1986 году Джеффри Хинтон и его коллеги возродили интерес к нейронным сетям с помощью алгоритма обратного распространения ошибки, который позволил эффективно обучать многослойные нейронные сети[1].

С начала 2000-х годов, с ростом вычислительных мощностей и объемов данных, глубокое обучение снова стало популярным. В 2012 году команда Алекс Кризевского представила архитектуру AlexNet на конкурсе ImageNet, продемонстрировав, как сверточные нейронные сети (CNN) могут достигать выдающихся результатов в распознавании изображений.

Глубокое обучение начало активно применяться в обработке естественного языка (NLP). В 2013 году была представлена модель Word2Vec, использующая нейронные сети для векторизации слов.

В 2014 году архитектура VGG показала, что увеличение глубины сети и использование малых сверток улучшают производительность, а в 2015 году ResNet ввела остаточные связи, позволяя создавать очень глубокие сети и избегая проблем с исчезающими градиентами.

Ключевым моментом стало появление архитектуры трансформеров в 2017 году, предложенной Васвани и др. Эта архитектура, основанная на механизме внимания, кардинально изменила подходы к NLP и привела к разработке таких моделей, как BERT и GPT, которые продемонстрировали выдающиеся результаты в ряде задач[1].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Машинное обучение, начиная с простых регрессионных моделей и заканчивая глубокими нейронными сетями, претерпело значительные изменения. Эти изменения открывают новые возможности в различных отраслях и создают фундамент для дальнейших исследований и разработок. Трансформеры продолжают расширять горизонты машинного обучения, меняя наш подход к решению сложных задач и повышая эффективность в различных приложениях. В дальнейшем стоит ожидать появления новых архитектур и методов, которые еще больше ускорят развитие этой области.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Schmidhuber, Annotated history of modern AI and deep learning / J. Schmidhuber // arXiv:2212.11279. 2022. 75 p.
2. article4 J. H. Friedman, Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine, The Annals of Statistics\*, vol. 29, no. 5, pp. 1189-1232, 2001.
3. article5 R. Quinlan, Induction of Decision Trees, Machine Learning, vol. 1, no. 1, pp. 81-106, 1986.
4. article6 V. Vapnik, The Nature of Statistical Learning Theory, Springer, 1995.
5. article7 L. Breiman, Random Forests, Machine Learning, vol. 45, no. 1, pp. 5-32, 2001.
6. article8 Скиба, И. Г. Эффективное использование нейронных сетей в управлении персоналом для повышения производительности = Effective use of neural networks in personnel management to improve productivity / И. Г. Скиба, С. Н. Нестеренков, Д. А. Жалейко // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 1 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богущ [и др.]. – Минск, 2024. – С. 363–367.

# АДАПТАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ U-NET ДЛЯ ПОДСЧЁТА КОЛИЧЕСТВА БАКТЕРИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО МИКРОСКОПА

Курочка К. С., Башаримов Ю. С.

Кафедра информационных технологий факультета автоматизированных и информационных систем  
Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого  
Гомель, Республика Беларусь  
E-mail: kurochka@gstu.by, basharymauyury@gmail.com

*Предлагается модифицированная архитектура U-Net для обнаружения и подсчёта бактерий на микроскопических изображениях. Подход включает добавление дополнительной "головы" (output head) к U-Net для регрессионной задачи подсчёта объектов. Предложенный метод демонстрирует улучшенную точность обнаружения и подсчёта бактерий.*

## ВВЕДЕНИЕ

Современное экологическое земледелие основывается на применении в качестве средств защиты растений биологических препаратов. Одним из видов таких препаратов являются бактериальные, эффективность которых зависит как от степени активности бактерий, так и от их концентрации. Обработка некачественным бактериальным препаратом не сможет в полной мере защитить растения, что приведет к потере урожая и необходимости повторной обработки. Для предотвращения таких ситуаций крайне важно иметь методику для экспресс-оценки эффективности препаратов в полевых условиях без привлечения специалистов.

Автоматизация процесса подсчёта бактерий с помощью современных цифровых технологий позволит быстро и точно оценивать концентрацию жизнеспособных бактерий в препарате перед обработкой. Это обеспечит правильное применение бактерий, максимизирует их положительное влияние на урожай и минимизирует риски, связанные с неэффективной обработкой [1].

## I. СЕГМЕНТАТОРЫ

Для автоматизации предлагается использовать метод на основе сегментации изображений, получаемых с помощью цифрового микроскопа. Сегментация – это процесс разделения изображения, на несколько сегментов или областей, каждая из которых представляет отдельный объект или часть объекта [2]. Это важный шаг в различных приложениях, таких как распознавание объектов, отслеживание объектов, анализ медицинских изображений [3] и многих других.

Семантические сегментаторы используют методы глубокого обучения, для выделения объектов различных классов на изображениях. Модели обучаются на наборах размеченных данных и могут точно сегментировать объекты на уровне пикселей.

Архитектуры энкодер-декодер, такие как U-Net [4], широко используются для задач семантической сегментации изображений. Основная идея заключается в том, что энкодер применяется для понижающей дискретизации изображения и извлечения его признаков, в то время как декодер выполняет обратную задачу – восстанавливает пространственную структуру исходного изображения, создавая семантическую карту.

Энкодер состоит из последовательности свёрточных слоёв. По мере прохождения через энкодер карты признаков становятся более компактными, однако их глубина увеличивается, что позволяет сети учитывать сложные взаимосвязи между элементами изображения.

Декодер, в свою очередь, восстанавливает пространственное разрешение, применяя такие операции, как деконволюции. В результате на выходе декодера создаётся семантическая карта, где каждый пиксель изображения отнесён к определённому классу.

Современные архитектуры CNN такие как Mask R-CNN (Mask Region-based Convolutional Neural Network) [5] или YOLO (You Only Look Once) [6], достигли потрясающей точности на общедоступных наборах данных. Они стали стандартом де-факто для задач семантической сегментации благодаря своей масштабируемости и способности обучаться мощным представлениям данных.

Преимущества сегментаторов на основе глубокого обучения заключаются в том, что они способны автоматически извлекать сложные признаки из данных, обеспечивают высокую точность за счёт мощных моделей и могут обобщаться на новые типы данных.

Однако у них есть и недостатки: требуют большие объёмы размеченных данных для обучения, такая как YOLO, обучаются напрямую детектировать и подсчитывать объекты на изображениях, используя большие наборы размеченных данных с известным количеством и расположением бактерий; страдают от непрозрачности и

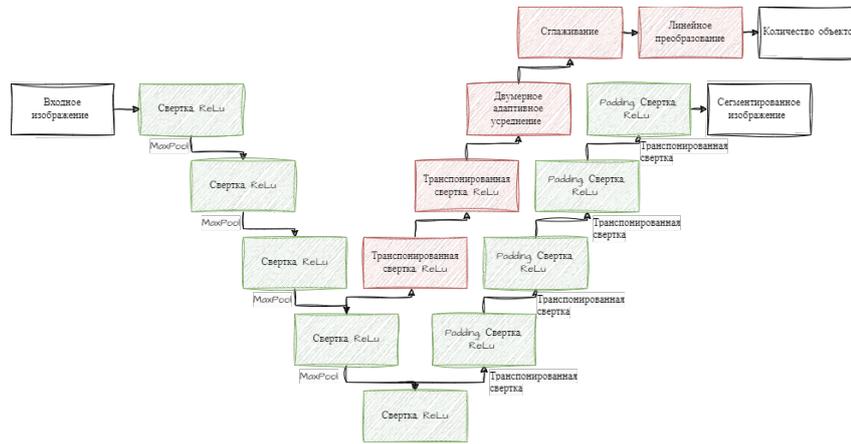


Рис. 1 – Модифицированная архитектура U-Net

проблем с интерпретируемостью, подвержены переобучению и плохой обобщаемости без должной регуляризации, а также требуют высоких вычислительных затрат при обучении и тестировании.

## II. НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ НА ОСНОВЕ U-NET

Для нейросетевой модели на основе U-Net был разработан специальный вариант сети, рис. 1, обученный не только на сегментацию бактерий, но и на их подсчёт.

Модифицированная архитектура U-Net включает добавление дополнительной "головы" (output head) к U-Net для регрессионной задачи подсчёта объектов. Эта "голова" подключена к одному из промежуточных слоёв энкодера U-Net, чтобы использовать семантические признаки более высокого уровня.

В процессе обучения сеть оптимизируется не только для точной сегментации бактерий, но и для корректного подсчёта их количества.

## III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Далее, в табл. 1, представлено сравнение U-Net и модифицированной U-Net, после обучения. Для не модифицированной архитектуры, после обработки были применены операции поиска центров и их подсчёта, время на эту операцию учитывались в результатах. Результаты сегментации сравнивались с эталонными масками контрольного набора. Для количественной оценки качества использовался коэффициент Жаккара.

Таблица 1 – Сравнение архитектур U-Net и модифицированной U-Net

Архитектура	Точность (%)	Время (сек)
U-Net + поиск контуров	89.1	43.9
Mod U-Net	91.8	30.1

Таким образом, на выходе модифицированной U-Net получается не только маска сегментации, разделяющая бактерии и фон, но и численное значение, соответствующее количеству бактерий на изображении. Этот специально обученный вариант нейросети U-Net позволяет производить одновременную сегментацию и подсчёт бактерий в одном прямом проходе, без необходимости выполнять дополнительные вычисления на основе маски сегментации.

## IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башаримов Ю. С. Определение количества бактерий *Bacillus thuringiensis* на изображениях полученных с помощью цифрового микроскопа : сборник материалов XIII Республиканской научной конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы математики и вычислительной техники», Брест, 23-24 ноября 2023 г. / Брестский государственный технический университет ; редкол.: В. А. Голово (гл.ред.) [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2023. – 126 с.
2. Романов, С. А. Анализ методов сегментации изображений [Текст] / С. А. Романов, О. М. Лепешкин, Ю. П. Стоянов // Молодой ученый. – 2010. – № 6 (17). – С. 26–28.
3. K. S. Kurochka and K. A. Panarin, «An algorithm of segmentation of a human spine X-ray image with the help of Mask R-CNN neural network for the purpose of vertebrae localization», 2021 56th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST), Sozopol, Bulgaria, 2021, pp. 55-58, doi: 10.1109/ICEST52640.2021.9483467. dings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – IEEE, 2014. – С. 3578-3584.
4. Yin X. X. et al. U-Net-Based medical image segmentation //Journal of healthcare engineering. – 2022. – Т. 2022.
5. Xu X. et al. Crack detection and comparison study based on faster R-CNN and mask R-CNN //Sensors. – 2022. – Т. 22. – №. 3. – С. 1215.
6. Mohamed E. et al. INSTA-YOLO: Real-Time Instance Segmentation //arXiv e-prints. – 2021. – С. arXiv: 2102.06777.

# ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВРЕДНОСНЫХ НАСЕКОМЫХ СЕМЕЙСТВА TERPHRITIDAE НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ FAST R-CNN И INCEPTION V3

Курочка К. С., Карпенко Д. Е.

Кафедра «Информационные технологии»,

УО «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»

Гомель, Республика Беларусь

E-mail: {kurochka, protankist343}@gmail.com

*В работе предлагается нейросетевая модель и соответствующее программное обеспечение для обнаружения вредоносных насекомых на контрольных ловчих листах, используемых в сельском хозяйстве. Основной акцент сделан на применении модели Fast R-CNN с архитектурой Feature Pyramid Network (FPN) и Inception V3 в качестве классификационной «головы». Разработанный подход позволяет автоматизировать процесс мониторинга количества насекомых семейства terphritidae, являющихся вредителями косточковых культур. Применение созданного программного обеспечения позволит увеличить скорость определения уровня вредителей, накоплению статистики и позволит даже непрофильным специалистам оценивать степень поражения садов.*

## ВВЕДЕНИЕ

Вредоносные насекомые представляют серьёзную угрозу для сельского хозяйства, вызывая значительные потери урожая. Традиционные методы обнаружения насекомых требуют значительных затрат времени и ресурсов, что делает необходимым разработку автоматизированных систем мониторинга. Современные достижения в области машинного обучения и компьютерного зрения позволяют решать такие задачи с использованием нейронных сетей. В данной работе рассматривается применение R-CNN с Feature Pyramid Network (FPN) и Inception V3 для задачи обнаружения вредоносных насекомых.

### I. ПРОБЛЕМАТИКА И ПРИЧИНЫ

Традиционные методы борьбы с насекомыми, такие как химические пестициды, сталкиваются с рядом серьёзных проблем. Во-первых, чрезмерное использование пестицидов вызывает устойчивость насекомых, что требует постоянного увеличения дозировок или смены действующего вещества. Во-вторых, химикаты часто негативно влияют на окружающую среду, загрязняя почву и водные ресурсы. Кроме того, они могут наносить ущерб полезным насекомым, нарушая экосистему. Также наблюдаются проблемы с возрождением популяций вредителей после обработки и возникновением новых вредителей, устойчивых к химическим средствам. Это показывает необходимость внедрения более устойчивых методов, таких как биологический контроль и интегрированные системы управления [1]. Для повышения эффективности борьбы и уменьшения финансовых затрат на обработку и профилактику сельскохозяйственных угодий разрабатываются и интегрируются автоматизированные системы учета и контроля за насекомыми, что позволяет снизить количество необходимых обработок сельскохозяй-

ственных угодий. Данные системы повышают эффективность использования пестицидов, рабочей силы, что уменьшает конечную стоимость продукта. Кроме того, применение таких автоматизированных систем позволяет минимизировать негативное воздействие на окружающую среду за счет более точного и целенаправленного применения средств защиты растений.

### II. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ FAST RCNN+FPN И INCEPTION V3

Задача Fast R-CNN – быстрое детектирование объектов. Модель решает проблему производительности RCNN, где отдельные региональные предложения классифицируются напрямую на уровне изображения, вместо раздельной обработки. Поэтому данная сетевая топология является популярной при обработке различных изображений [4]. В Fast R-CNN сеть одновременно предсказывает классы объектов и координаты ограничивающих рамок (bounding boxes), что значительно ускоряет процесс. RoI Pooling важная часть Fast RCNN, которая извлекает фиксированные по размеру регионы интереса (RoI) из карты признаков, что позволяет применять классификатор к предложенным регионам.

Feature Pyramid Networks (FPN) данная сеть строит пирамиды признаков, извлекая информацию на разных уровнях свёрточной сети, что позволяет учитывать как низкоуровневые, так и высокоуровневые признаки. FPN особенно эффективен при работе с многообразием масштабов объектов.

Inception V3 имеет 48 слоев, включая свёрточные слои, слои объединения. Inception использует модульную архитектуру, состоящую из так называемых «Inception модулей». Эти модули позволяют сети захватывать различные уровни абстракции и комбинации признаков. Данная мо-

дель имеет Global Average Pooling. Этот подход позволяет сделать модель более устойчивой к различным преобразованиям изображения, так как он фокусируется на глобальных признаках, а не на локальных. Так же этот метод помогает предотвратить ситуацию «исчезающего градинта».

### III. АРХИТЕКТУРА СОЗДАННОЙ МОДЕЛИ

Структура модели состоит из модулей FPN, RPN, ROI Align и классификационной «головы» Inception V3, которая в свою очередь выступает для создания карт признаков в Fast RCNN, на рисунке изображена общая структура модели (см. рис. 1). Inception V3 был модифицирован для работы с Fast RCNN + FPN. Из классификатора был удален выходной слой, который классифицировал принадлежность к классу. Так же что бы сформировать пирамиду признаков были выбраны 5 сверточных слоев из последнего блока в модели Inception V3. Для обучения использовались уже предобученные модели Inception V3 и Fast RCNN FPN, классификатор InceptionV3 был обучен на датасете ImageNet.

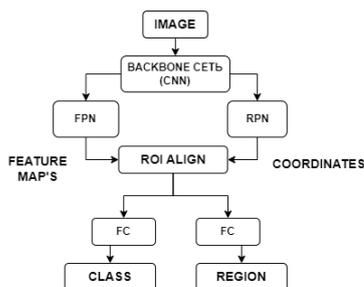


Рис. 1 – Общая топология сети

### IV. ВЫБОР ПРИЗНАКОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НАБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ

Основная проблематика в машинном обучении – обучение, разработка новых топологий модели и создание датасетов. Система не будет хорошо работать, если обучающий набор слишком мал или данные нерепрезентативны, зашумлены либо загрязнены несущественными признаками (мусор на входе - мусор на выходе)[2]. Данный аспект является одним из самых важных. От качества обучающей выборки зависит конечный результат. Выбор данных и их признаков в машинном обучении является достаточно творческим, т.е. он не детерминирован. Что важнее, на пчёл изначально был датасет, а на вишнёвую муху – нет. Время для создания полноценного набора данных с вишневыми мухами не было, т.к. период размножения приходится на начало мая и начало июня. Поэтому было принято решение использовать перенос обучения и синтезировать дата сет.

Для генерации данных используются различные способы, на изображения добавляют различные шумы, эффекты. Такие операции, как

сдвиг обучающих изображений на несколько пикселей в каждом направлении, могут значительно улучшить обобщаемость, даже если при проектировании модели уже была заложена частичная инвариантность относительно параллельных переносов путем применения методов свертки и пулинга[3]. Многие другие операции, например поворот или масштабирование изображения, также оказались весьма эффективными[3]. Такой подход называется аугментация данных. Большая часть выборки была сформирована именно этим способом. Так же имеет место быть генерация новых объектов при помощи генеративных моделей и трансформеров.

После первичного обучения проведен анализ паразитов, которые как и вишневая муха нападают косточковые культуры. Датасет для классификатора был дополнен этими паразитами и классификатор был до обучен. Все эти манипуляции с данными дали неплохие показатели классификации (см рис. 2). `Statistic classes` определяет количество объектов классифицированных, `Statistic pred` определяет количество определенных классов. Процент правильно определенных классов около 0,95.

```

statistic_classes
[17840. 17820.  0.  0.]
statistic_pred
[16866. 17628.  0.  0.]
train loss 0.0667583669647682
    
```

Рис. 2 – Матрица ошибок

### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рисунке изображены маркированные объекты, обведенные моделью (см. рис. 3). Предложенная модель и программные средства могут быть использованы в практической деятельности небольшими сельхоз предприятиями и фермерскими хозяйствами.

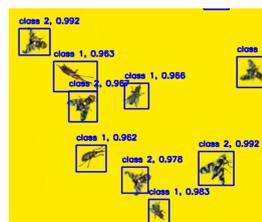


Рис. 3 – Пример маркированных объектов

1. Finstein, J. Advances in Pest Management Strategies: A Review / J. Finstein // Int. Res. J. Agric. Sci. Soil Sci. – 2023. – Vol. 12, № 4. – P. 1–3.
2. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем / Жерон О. – СПб.: Диалектика, 2018. – 688 с.
3. Глубокое обучение / Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.
4. Kurochka K.S., Panarin K.A. An algorithm of segmentation of a human spine X-ray image with the help of Mask R-CNN neural network for the purpose of vertebrae localization / Kurochka K.S., Panarin K.A. // ICEST 2021-Proceedings – 2021. – ISBN:978-1-6654-2888-0, – P.55–58.

# ИНТЕГРИРУЮЩАЯ РОЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКАМИ

Кушнеров А. Э.

Кафедра ИТАС, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: kushartem@gmail.com

*Рассматривается автоматизированная система оперативного управления. Предлагается методологический подход, разработки расчетных задач, для оказания помощи командирам в принятии решений.*

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях современных конфликтов эффективность ведения боевых действий зависит от способности войск быстро и адекватно реагировать на изменения оперативной обстановки. Автоматизированные системы управления (АСУ) войсками становятся важным инструментом в этом процессе, обеспечивая интеграцию различных сил и средств [1]. Что позволяет:

- получать данные обстановки в реальном времени и анализировать информацию для поддержки командных решений;
- учитывать возможности и ограничения каждого элемента оперативного построения планировать и координировать действия между ними;
- оптимизировать ресурсное обеспечение эффективно распределяя материальные средства и планируя логистику на основе актуальных данных и прогнозов.

## I. АСУ «ПАНАЦЕЯ»

Разработанная многоуровневая АСУ «Панацея» позволила объединить под управлением должностных лиц технические средства разведки, связи, поражения, РЭБ, передачи данных, автоматизации, навигационно-временного обеспечения в интересах батальонной тактической группы. Результаты проведенной работы обеспечили существенное улучшение основных тактических нормативов и повышение боевых характеристик применения подразделений батальонной тактической группы (БТГр).

## II. СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В рамках АСУ «Панацея» ведутся работы по созданию интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР) командира БТГр. Интеллектуальность которой, основана на построении адаптивной модели боевой ситуационной осведомленности. Данная модель представляет собой комплексный подход к обеспечению информационной поддержки принятия решений в условиях современного боя. Охватывает методы, технологии и процессы, направленные на формирование

и поддержание актуального понимания оперативной обстановки, что критически важно для достижения успеха.

Особенности адаптивной модели боевой ситуационной осведомленности:

- оценка достоверности данных с учетом потенциального воздействия фальшивых источников информации;
- использование инструментов моделирования для прогнозирования будущих событий на основе текущих данных;
- адаптация планов действий в реальном времени на основе изменений обстановки.

## III. РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАЧИ АСУ «ПАНАЦЕЯ»

АСУ позволяет выполнять расчетные задачи в рамках оказания помощи командирам по принятию решения.

Ниже приведен пример задачи предварительного расчета марша.

Сущность расчета – определить время, необходимое на выдвижение в заданный район, которое складывается из:

- времени на вытягивание;
- времени на движение по маршруту;
- времени на привалы;
- времени на втягивание колонны в район.

Основными исходными данными для расчета являются средняя скорость движения колонны и протяженность маршрута.

Средняя скорость движения на марше в составе отдельной колонны без учета времени на привалы составляет на автомобилях (бронетранспортерах) 5–30 км/ч.

При совершении марша в благоприятных условиях на автомобилях средняя скорость может достигать 35–40 км/ч.

В неблагоприятных условиях средняя скорость движения может быть уменьшена до 15–20 км/ч. При движении по грунтовым (полевым) дорогам в лесисто-болотистой местности средняя скорость движения может уменьшаться до 10–15 км/ч.

Протяженность маршрута измеряется по топографической карте с учетом коэффициента местности указанного в таблице 1.

Расчет глубины колонны ( $G$ ) – (в километрах).

Исходные данные: линейный размер машины ( $l$ ), количество машин в колонне ( $n$ ), дистанция между машинами ( $d$ ), количество прицепов ( $np$ ), линейный размер прицепа ( $lp$ ).

( $d$ ) зависит от средней скорости движения колонны и численно равна ей.

Таблица 1 – Значение коэффициента местности

Характер местности	масштаб карты 1:50 000	масштаб карты 1:100 000	масштаб карты 1:200 000
равнинная	1,0	1,0	1,05
холмистая	1,05	1,1	1,15
горная	1,15	1,2	1,25

(Например: скорость движения – 30 км/ч, дистанция – 30 м и т. д.),

Линейный размер машины обычно равен 7 м, линейный размер прицепа – около 5 м.

$$G = \frac{(l * n + d * (n - 1) + np * lp)}{1000}$$

Пример: в колонне дшр – 10 ед. БТР-80 и четыре автомобиля с прицепами, средняя скорость движения колонны – 30 км/ч.

Глубина колонны будет равна:

$$G = \frac{(7 * 14 + 30 * (14 - 1) + 5 * 4)}{1000} = 0,508 \text{ км}$$

1. Определение времени на вытягивание колонны ( $T_{\text{выт.}}$ ).

Исходные данные: глубина колонны ( $G$ ), удаление исходного рубежа ( $U$ ) (определяется исходя из глубины колонны – не может быть меньше ее), скорость вытягивания колонны – обычно берется равной половине средней скорости движения на марше ( $V_{\text{ср}}/2$ ).

$$T_{\text{выт.}} = \frac{(U + G)}{(V_{\text{ср}}/2)}$$

Пример:  $U = 1$  км, средняя скорость на марше  $V_{\text{ср}} = 30$  км/ч  $T_{\text{выт.}} = (1 + 0,508) / 15 = 0,1$  часа (или 6 минут).

2. Время на движение по маршруту ( $T_{\text{дв.}}$ )

Исходные данные: длина маршрута ( $L_m$ ), средняя скорость движения ( $V_{\text{ср}}$ )

$$T_{\text{дв.}} = L_m / V_{\text{ср}}$$

Пример: длина маршрута – 240 км, средняя скорость нами уже определена – 30 км/ч

$$T_{\text{дв.}} = 240 / 30 = 8 \text{ часов}$$

3. Время на привалы ( $T_{\text{пр.}}$ ).

Первый привал продолжительностью до одного часа назначается через час движения после прохождения исходного пункта. Последующие привалы продолжительностью до одного часа назначаются через 3 – 4 часа движения с момента прохождения пункта регулирования. Во второй

половине суточного перехода назначается привал продолжительностью до 2 часов. По окончании суточного перехода назначается район дневного (ночного) отдыха, продолжительностью не менее 4 часов.

Пример: исходя из времени на движение по маршруту (8 часов) нам необходимо два привала, через 1 час движения продолжительностью 1 час и через 4 часа движения продолжительностью 1 час.

Таким образом:  $T_{\text{пр}} = 1 + 1 = 2$  часа

4. Время на втягивание ( $T_{\text{вт.}}$ )

Исходные данные: глубина района сосредоточения ( $G_p$ ), скорость втягивания колонны – обычно берется равной половине средней скорости движения на марше ( $V_{\text{ср}}/2$ ).

$$T_{\text{вт.}} = G_p / (V_{\text{ср}}/2)$$

Пример:  $G_p = 1$  км

$$T_{\text{вт.}} = 1/15 = 0,066 \text{ часа (или 4 минуты)}$$

5. Итого минимально необходимое время на совершение марша подразделением будет равно.

$$0,1 + 8 + 2 + 0,066 = 10,166 \text{ часов или 10 часов 10 минут.}$$

При расчете используется ядро маршрутизации Graphhopper. Алгоритмы для расчета без дополнительных параметров (покрытие, тип дороги, мосты и т.п.) Contraction hierarchies. Второй алгоритм для расчета с динамическими параметрами Landmark-based routing.

Интерфейс отображения напоминает обычный навигатор. Командиру предлагается несколько решений с обоснованием выбора.

АСУ позволяет решать более 25-ти расчетных задач. Таких как:

- расчет времени на подготовку к предстоящим боевым действиям;
- расчет боевых потенциалов своих войск и войск противника;
- создание боевого порядка;
- распределение сил и средств;
- расчет огневых возможностей подразделений/частей и т.д.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интегрирующая роль АСУ заключается в создании единого информационного пространства, в котором осуществляется взаимодействие всех элементов военной структуры. Понимание обстановки позволяет командирам быстро реагировать на изменения, принимая обоснованные решения, что способствует достижению поставленных целей в условиях многозадачности и динамичности современных боевых действий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ричардс, Ч. У. Мобильные, неуязвимые вооруженные силы / Под ред. В. Белоуса и И. Сафранчука; Центр оборон.информ. – М.: Гендальф, 2002. – 109 с.
2. Кривоусов, П. Ф. Нормативы и основные расчеты в планировании марша автомобильных колонн при осуществлении воинских автомобильных перевозок // Вестник СибАДИ, 2012. – №5(27) – С. 35 – 39.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ

Лаппо А. И., Воротницкая М. В., Ярмолик В. И.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: lappo@gmail.com

В данной статье рассматривается проблема формирования переходных отверстий в кремниевой пластине с использованием лазерного нагрева. Выполнено моделирование лазерного нагрева для выбора оптимальных параметров для получения отверстия в кремниевой пластине необходимой для формирования контактных соединений между компонентами 3D-модуля.

## ВВЕДЕНИЕ

Применение лазерного излучения в технологических процессах кроме отсутствия непосредственного контакта с материалом имеет ряд других преимуществ. Среди которых является возможность точно следовать технологическим режимам и контролировать количество подводимой энергии, благодаря высокой плотности энергии лазерного излучения можно быстро достичь высоких температур, включая температуру испарения обрабатываемых материалов, что позволяет использовать одно и то же оборудование для различных операций по обработке изделий.

В процессе создания переходных отверстий в кремниевой подложке возникает проблема выбора параметров работы лазера. Технология формирования точечного отверстия не идеальна, поэтому получаемые отверстия имеют конусообразную форму. Отношение разности диаметров отверстий к толщине подложки определяет степень конусообразности. Для качественного отверстия этот показатель не должен превышать 0,1.

## I. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Моделирование осуществлялась в программном пакете Comsol Multiphysics 5.3.

Физические свойства кремниевой пластины:

- Диаметр пластины – 25.4 мм,
- Толщина пластины – 200 мкм,
- Излучательная способность поверхности – 0.8,
- Плотность – 2329 кг/м<sup>3</sup>,
- Теплоемкость – 700 Дж/(кг\*К),
- Температура плавления – 1623 К.

Для исследования зависимости температуры в зоне нагрева кремниевой пластины от радиуса лазерного луча при различной мощности, проведено моделирование температуры в двух точках: в точке нагрева и в 5 мм от точки нагрева пластины (рис. 1).

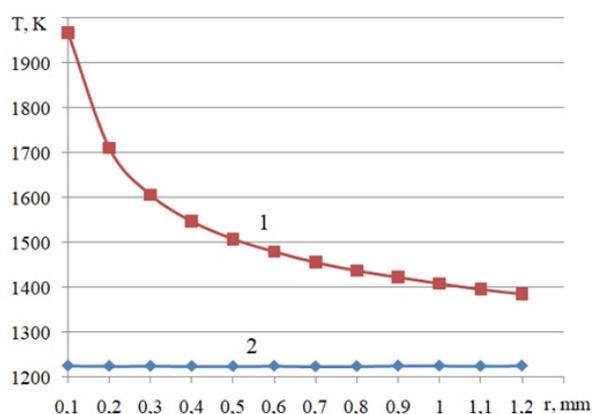


Рис. 1 – Зависимости температуры от радиуса луча лазера В точке нагрева (1) и в 5 мм от точки нагрева (2)

Температура в 5 мм от точки нагрева пластины не зависит от радиуса луча (рис. 1 кривая 2). В точке нагрева (рис. 1 кривая 1) снижение температуры имеет экспоненциальный характер, зависящий от радиуса луча лазера. Данная зависимость обусловлена тем, чем меньше радиус луча, тем больше энергии поглощается на единицу площади и соответственно нагрев больше.

Моделирование формирования отверстия радиусом 0.1мм лазерным нагревом в зависимости от мощности источника в точке нагрева (рис. 2), на расстоянии 5мм от точки нагрева (рис.3).

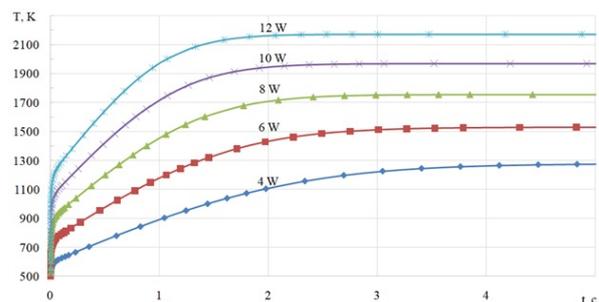


Рис. 2 – Зависимости температуры в точке нагрева пластины

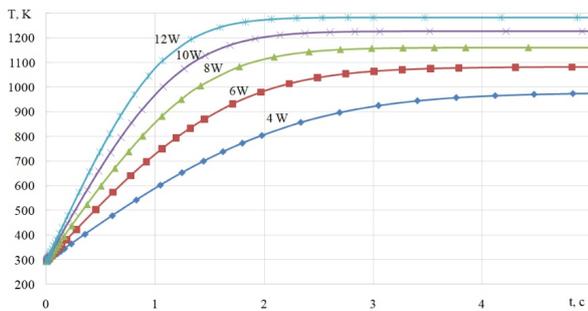


Рис. 3 – Зависимости температуры на расстоянии 5 мм от точки нагрева

Из температурновременных зависимостей получено что для мощности 4 Вт температура в точке нагрева перестает расти после 3.8 секунды после начала и составила 1300К, на расстоянии 5мм от точки нагрева рост температуры прекратился после 4.5 секунды и составил 980К. Для мощности 6 Вт температура в точке нагрева достигает максимального значения через 3,5 секунды после начала нагрева и составляет 1520К. На расстоянии 5 мм от точки нагрева температура перестаёт расти через 3,7 секунды и достигает значения 1080К. Для мощности 8 Вт температура в точке нагрева перестает расти после 2.7 секунды после начала и составила 1755К, на расстоянии 5мм от точки нагрева рост температуры прекратился после 3 секунды и составил 1160К. Для мощности 10 Вт температура в точке нагрева достигает максимального значения через 2,5 секунды после начала нагрева и составляет 1968К. На расстоянии 5 мм от точки нагрева температура перестаёт расти через 2,7 секунды и достигает значения 1225К. При мощности 12 Вт температура в точке нагрева достигает своего максимума через 2,2 секунды после начала нагрева и составляет 2171К. На расстоянии 5 мм от точки нагрева температура перестаёт расти через 2,5 секунды и достигает 1281К.

## II. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ

Распределение тепловых полей в зоне нагрева на срезе пластины при различных мощностях (рис. 4).

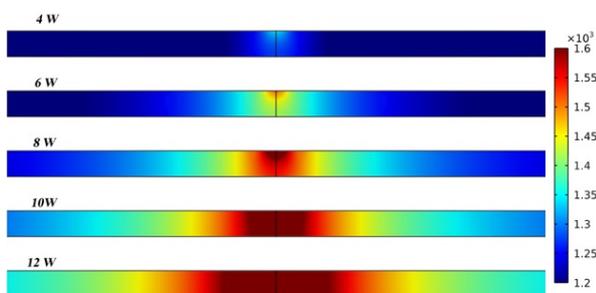


Рис. 4 – Тепловые поля в зоне нагрева на срезе пластины

Рассмотрим распределение тепловых полей в зависимости от мощности лазерного луча, при сохранение других параметров моделирования. Для мощности лазера 4 Вт недостаточно энергии для нагрева материала до температуры плавления кремниевой пластины и максимальная температура составила 1300К. При использовании лазера мощностью 6 Вт максимальная температура на поверхности составила 1520К и не достигает искомой температуры. При мощности лазера 8 Вт получен результат, при котором образовался кратер расплавленного материала, но сквозного отверстия не получено, значит не смотря на получения температуры выше точки плавления данной мощности недостаточно для проведения процесса прошивки кремниевой пластины. При мощности 10 Вт получено сквозное отверстие в кремниевой пластине, отношение полученного отверстия к диаметру луча составила 241%, конусность оставила 0.1, что является соответствует параметрам качества. При мощности 12 Вт получено отверстие больше диаметра луча на 461%, также видно значительное увеличение области конвекционного нагрева вокруг получаемого отверстия. Из этого можно сделать вывод о чрезмерности данной мощности для применения операции прошивки отверстия в кремниевой пластине.

## III. ВЫВОДЫ

Моделирование показало, что применение лазера радиусом 0.1мм мощностью менее 10 ватт не позволяет получить отверстие. Применение энергии более 12 ватт приводит к значительному перегреву зоны обработки. Температура в точке нагреве при 8 ватт – 1755К, 10 ватт – 1968К, 12 ватт – 2171К. Температура в 5и мм от точки нагреве при 8 ватт – 1160К, 10 ватт – 1225К, 12 ватт – 1281К. Анализ тепловых полей среза пластины показал наличие конусности на значениях мощности в 10 ватт и составила 0,1. При значениях мощности 12 ватт и более конусность не обнаружена. Отношения диаметра луча лазера к полученным отверстиям составляет для 10 ватт – 241%, 12 ватт – 461%. Из этого делаем вывод, что оптимальным значение энергии будет в диапазоне 10 ватт. Дальнейшее увеличение мощности может приводить к перегреву кремниевой пластины.

1. Лаппо, А. И. Моделирование процесса лазерной прошивки отверстий в кремнии при формировании 3D структур / А. И. Лаппо, Т. С. Боброва, О. В. Кузнецова / Материалы международной научной конференции «ITS-2019» Минск: БГУИР, 2019. – С. 232–233
2. Ланин, В. Л. Формирование отверстий в кремниевой подложке 3D электронного модуля лазерным излучением / В. Л. Ланин, В. Т. Фам, А. И. Лаппо // Доклады БГУИР, 2021, № 3. – С. 58–65.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ВНЕДРЕНИЯ ВОДЯНОГО ЗНАКА В ПРОСТРАНСТВЕННУЮ ОБЛАСТЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Маутин И. В.

Кафедра информатики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mautin.ivan.3@gmail.com

*Водяной знак – это некоторая информация, встраиваемая в объекты интеллектуальной собственности, такие как изображения, видео и аудио. Встраивание водяных знаков позволяет обеспечить авторство, защиту интеллектуальной собственности и предотвратить несанкционированное использование и распространение цифрового контента. Водяные знаки могут быть использованы для идентификации источника изображения, обнаружения плагиата и защиты авторских прав.*

## ВВЕДЕНИЕ

С развитием интернета и цифровых технологий стало чрезвычайно легко копировать и распространять изображения без разрешения автора, что создает серьезные проблемы для защиты интеллектуальной собственности. Это делает критически важным разработку и использование эффективных методов защиты авторских прав на цифровой контент.

Одним из наиболее широко используемых методов защиты графических объектов являются водяные знаки и так называемые «отпечатки пальцев». Водяные знаки представляют собой информацию, встроенную в изображение, которая используется для идентификации правообладателя и защиты от несанкционированного использования. В простейшем случае, водяной знак может быть представлен в виде копирайт-строки, добавляемой автором на изображение. Такой метод позволяет не только подтвердить авторство, но и служит превентивной мерой против нелегального копирования.

### I. Виды водяных знаков

Существует два основных типа водяных знаков: видимые и невидимые. Видимые водяные знаки – это текст или логотип, который четко виден на изображении и явно указывает на правообладателя. Невидимые водяные знаки, напротив, встроены в изображение таким образом, что они неразличимы для человеческого глаза, но могут быть обнаружены с помощью специальных алгоритмов.

«Отпечатки пальцев» представляют собой более сложную форму водяных знаков, которая не только определяет правообладателя, но и позволяет идентифицировать конкретного пользователя, которому легально предоставлено право на использование данного изображения [1]. Это особенно важно в случаях, когда необходимо отследить утечку контента или выявить источник несанкционированного распространения.

Разработка алгоритмов для создания и обнаружения водяных знаков и «отпечатков пальцев»

является активной областью исследований, направленной на улучшение надежности, устойчивости к атакам и сохранение качества оригинального изображения. Эти алгоритмы должны быть достаточно сложными, чтобы противостоять попыткам удаления или изменения водяных знаков, и в то же время эффективными для применения в реальных условиях.

### II. ТРЕБОВАНИЯ К АЛГОРИТМАМ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ

Хороший алгоритм водяных знаков должен удовлетворять следующим требованиям:

- Устойчивость – добавленный водяной знак должен быть устойчив к искажению изображения. Он должен быть сложно удаляем без потери качества исходного объекта, а также предотвращать возможность добавления нового водяного знака, который перезапишет старый.
- Незаметность – водяные знаки должны быть интегрированы таким образом, чтобы они не влияли на визуальное восприятие изображения.
- Обратимость – в случае необходимости, алгоритм должен позволять извлекать и проверять водяной знак без потери информации.

### III. АЛГОРИТМ PATCHWORK

Алгоритм Patchwork разработан в 1996 году и основан на псевдослучайности и статистической модели. Принцип работы алгоритма следующий:

1. С помощью генератора псевдослучайных чисел на основе ключа выбираются два пикселя изображения  $A_i$  и  $B_i$  с соответствующей яркостью  $a_i$  и  $b_i$ ;
2. Яркость одного из пикселей увеличивается на  $\delta$ , а другого уменьшается на  $\delta$ . Значение  $\delta$  варьируется в диапазоне от 1 до 5 [2];
3. Шаги 1–2 повторяются  $n$  раз ( $n \sim 10000$ ).

Тогда сумма разностей значений яркости пикселей:

$$S_n = \sum_{i=1}^n [(a_i + \delta) - (b_i - \delta)] = 2\delta n + \sum_{i=1}^n (a_i - b_i)$$

При больших  $n$  значение  $\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)$  стремится к нулю, поэтому значение  $S_n$  будет примерно равно  $2\delta n$ . Значение  $S_n$  кодирует один бит информации: если  $S_n > 0$ , тогда значение принимается за 1, иначе 0.

Для проверки наличия водяного знака алгоритм запускается заново и рассчитывает  $S_n$ , и если рассчитанное значение оказалось сильно больше нуля, тогда считается, что наличие водяного знака подтверждено.

#### IV. АЛГОРИТМ КУТТЕРА

Данный алгоритм применяется к изображениям, имеющим RGB-кодировку. Встраивание информации происходит в синий канал, так как к синему цвету человеческий глаз наименее чувствителен. Данный алгоритм также как и предыдущий использует генераторы псевдослучайных чисел для получения позиций, в которые встраиваются данные.

Пусть  $s_i$  это встраиваемый бит,  $p = (x, y)$  – псевдослучайная позиция, в которую выполняется встраивание. Тогда секретный бит передается через синий канал согласно следующей формуле:

$$b^i(p) = \left\{ \begin{array}{l} b(p) + ql(p), s_i = 0, \\ b(p) - ql(p), s_i = 1. \end{array} \right\},$$

где  $l(p) = 0.299r(p) + 0.587g(p) + 0.114b(p)$  – яркость пикселя,  $r(p), b(p), g(p)$  – яркость соответствующего канала пикселя, а  $q$  – некоторая константа.

Величина  $q$  представляет энергию встраиваемого сигнала, а ее значение обычно находится в диапазоне от 0.02 до 0.25. Чем больше значение  $q$ , тем выше устойчивость водяного знака, но тем больше будет и его заметность (то есть данный пиксель будет сильнее выделяться из изображения) [3].

При извлечении водяного знака дается оценка синей составляющей  $\hat{b}(p)$  пикселя на основании его соседей. Наиболее часто используется «крест» (пиксели, расположенные в той же строке и том же столбце) размером  $n \times n$ . Тогда оценка  $\hat{b}(p)$  выражается как:

$$\hat{b}(p) = \frac{1}{4n} \left( \sum_{i=-n}^n b(x+i, y) + \sum_{k=-n}^n b(x, y+k) \right)$$

Если в процессе встраивания водяного знака каждый бит стегосообщения был повторен  $m$  раз, то при извлечении мы получим  $m$  разных оценок

одного бита. Для нахождения секретного бита производится усреднение разности оценки пикселя и его реального (полученного из имеющейся части изображения) значения:

$$\delta = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{b}_i(p) - b_i(p)$$

Если полученное значение  $\delta$  положительное, значение бита принимается за 0, иначе за 1.

#### V. СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ

Оба алгоритма не нуждаются в исходном изображении для извлечения информации о водяном знаке, а также являются невидимыми.

Алгоритм Patchwork основан на статистических свойствах изображения и устойчив к многим видам обработки изображений, таким как сжатие, фильтрация. Однако он менее устойчив к различного рода геометрическим искажениям изображения. Важный недостаток данного алгоритма заключается в малой вместимости, ведь обычно он способен встроить около одного бита на 10000 пикселей.

Алгоритм Куттера является устойчивым ко многим атакам на цифровые знаки, например, к низкочастотной фильтрации изображения, его сжатию с помощью алгоритма JPEG, обрезанию краев. Также вместимость данного алгоритма составляет порядка одного бита на 100 пикселей, что делает его куда более предпочтительным вариантом, чем Patchwork. Главный недостаток алгоритма Куттера в том, что он не гарантирует абсолютную надежность определения значения секретного послания, так как процедура извлечения сообщения не является обратной для процедуры его встраивания.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ показал, что рассмотренные методы соответствуют требованиям к алгоритмам водяных знаков и обладают хорошей устойчивостью, однако каждый обладает своими недостатками. Приведенные методы встраивают водяные знаки в пространственные области изображения, что является простым и эффективным способом защиты авторского права.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярмолик В. Н. Криптография, стеганография и охрана авторского права / В. Н. Ярмолик, С. С. Портянко, С. В. Ярмолик – 2007. – С. 142-143
2. Семёнов К. П. Алгоритмы встраивания цифровых водяных знаков в растровые изображения / К. П. Семёнов, П. В. Зайцев // Информационная безопасность регионов : научно-практический журнал. – 2011. – №1. – С. 46–50
3. Гоибуниин В. Г. Цифровая стеганография / В. Г. Гоибуниин, И. Н. Оков, И. В. Туринцев: Изд-во Москва СОЛОН-ПРЕСС. – 2009 – 264 с

# МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ СТАЦИОНАРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Микулич Г. В., Жук Е. Е.

Кафедра математического моделирования и анализа данных,  
Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: aragornugua@gmail.com, zhukee@mail.ru

*Рассматриваются различные подходы к проблеме статистической классификации стационарных в широком смысле временных рядов: классификация коэффициентов авторегрессии и ковариационных функций.*

## ВВЕДЕНИЕ

Задача статистической классификации является одной из основных прикладных задач математической статистики. При этом, данные, подлежащие классификации, во многих случаях находятся в формате временных рядов, например: биомедицинские измерения (электрокардиограмма, кровяное давление), данные о погоде, цены акций на бирже и др. В данной работе изучается частный случай стационарных временных рядов, поскольку исследование нестационарных временных рядов может быть сведено к исследованию стационарных [1]. Рассматривается два подхода к решению задачи, а также построены решающие правила для алгоритмов, например, дискриминантного или кластерного анализа.

## I. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Различие подходов заключается в разном выборе признаков для классификации: в первом случае это коэффициенты авторегрессии модели  $AR(p)$ , а во втором – ковариационные функции реализаций стационарных временных рядов. Обозначим подход через классификацию коэффициентов авторегрессии как первый, а через ковариационные функции – как второй. Опишем обе математические модели, принимая во внимание то, что разделение на классы неодинаково для разных подходов.

Пусть наблюдается случайная выборка  $X^n = (X_1, \dots, X_n)$  объёма  $n$  из независимых в совокупности случайных векторов наблюдений, принадлежащих к  $L \geq 2$  классам  $\Omega_1, \dots, \Omega_L$ . Наблюдение  $X_t$  принадлежит к классу со случайным ненаблюдаемым номером  $d_t^0 \in S$ ,  $S = \{1, \dots, L\}$ ,  $t = \overline{1, n}$  и при фиксированном номере класса  $d_t^0 = i$ ,  $i \in S$  является:

1. Реализацией длительности  $T_t$  ( $X_t = (x_{t1}, \dots, x_{tT_t})' \in R^{T_t}$ , ' – символ транспонирования) временного ряда авторегрессии  $x^i = \{x_l^i\}_{l=-\infty}^{+\infty}$  порядка  $p \geq 1$  (модель  $AR(p)$ )

$$x_l^i + \theta_{i1}^0 x_{l-1}^i + \dots + \theta_{ip}^0 x_{l-p}^i = u_l^i, l \in Z, (1)$$

где  $Z = \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ ,  $\theta_i^0 \in R^p$  – вектор авторегрессии для  $i$ -го класса, а  $\{u_l^i\}_{l=-\infty}^{+\infty}$  –

независимые в совокупности нормальные случайные величины с нулевым математическим ожиданием и одинаковой дисперсией  $\sigma^2$  для всех классов  $\Omega_i$ :

$$E \{u_l^i\} = 0, D \{u_l^i\} = \sigma^2, l \in Z, i \in S. (2)$$

2. Реализацией длительности  $T_t$  стационарного временного ряда с нулевым математическим ожиданием и ковариационной функцией  $\sigma_i(h)$ :

$$E \{x_{tj} | d_t^0 = i\} = 0, j = 1, 2, \dots$$

$$\sigma_i(h) = \sigma_i(-h) = E \{x_{tj}, x_{t, j+h} | d_t^0 = i\},$$

$$h = 0, 1, 2, \dots, i \in S. (3)$$

Наряду с вектором коэффициентов авторегрессии  $\theta_i^0$  для первого случая и ковариационными функциями  $\{\sigma_i(\cdot)\}_{i \in S}$  для второго случая, классы  $\Omega_i$  также характеризуется своей априорной вероятностью:

$$P \{d_t^0 = i\} = \pi_i^0 > 0, i \in S, \sum_{i=1}^L \pi_i^0 = 1. (4)$$

## II. КЛАССИФИКАЦИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ОЦЕНОК КОЭФФИЦИЕНТОВ АВТОРЕГРЕССИИ

Используем модель (1),(2),(4). Преобразуем исходную выборку  $X^n$  в выборку  $Y^n = (Y_1, \dots, Y_n)$ , где  $Y_t \in R^p$ ,  $t = \overline{1, n}$  – МП-оценка для  $p$ -вектора коэффициентов авторегрессии  $\theta_{d_t^0}^0 \in R^p$ , построенная по наблюдению  $X_t \in R^{T_t}$ , являющемуся реализацией длительности  $T_t$  одного из временных рядов  $AR(p)$  из (1).

Для построения МП-оценки  $Y_t$  воспользуемся тем фактом, что наблюдение  $X_t \in R^{T_t}$  при фиксированном  $d_t^0 = i$ ,  $i \in S$  является нормальным  $T_t$ -вектором с нулевым математическим ожиданием  $E \{X_t | d_t^0 = i\} = 0_{T_t}$ , и плотностью распределения вероятностей

$$p(X_t; \theta_i^0, \sigma) = n_p(X_t^p | 0_p, R_p(\theta_i^0, \sigma)) \times \\ \times (2\pi)^{-\frac{T_t-p}{2}} \sigma^{-(T_t-p)} \times (5)$$

$$\times \exp\left(\frac{-1}{2\sigma^2} \sum_{l=p+1}^{T_t} (x_{tl} + \theta_{i1}^0 x_{t,l-1} + \dots + \theta_{ip}^0 x_{t,l-p})^2\right).$$

В формуле (5)  $n_p(y|\mu, \Sigma)$  – плотность  $p$ -мерного нормального распределения,  $X_t^p = (x_{t1}, \dots, x_{tp})^t \in R^p$ ,  $R_p(\theta_i^0, \sigma) = E\{X_t^p(X_t^p)^t \mid d_t^0 = i\}$  – невырожденная [2] ковариационная матрица, элементами которой являются автоковариации  $(\rho_{|k-l|}(\theta_i^0, \sigma))_{k,l=1}^p$ , определяемые системой уравнений Юла – Уокера [3]:

$$\sum_{j=1}^p \theta_{ij}^0 \rho_j(\theta_i^0, \sigma) = \sigma^2;$$

$$\sum_{j=1}^p \theta_{ij}^0 \rho_{|k-j|}(\theta_i^0, \sigma) + \rho_k(\theta_i^0, \sigma) = 0, \quad k = 1, 2, \dots$$

Согласно методу максимального правдоподобия,

$$\{Y_t, \hat{\sigma}_t\} = \arg \max_{\{\theta, \sigma\}} \ln p(X_t; \theta, \sigma),$$

где  $p(X_t; \theta, \sigma)$  – плотность из (5), записанная для  $\bar{\theta}$ ,  $\theta_i^0 := \theta$ . Получаем следующее решающее правило:

$$\hat{d}_t = \arg \min_{i \in S} |Y_t - \hat{\theta}_i|, \quad t = \overline{1, n}.$$

Для решения задачи дискриминантного анализа по вектору истинной классификации строим оценки для "центров" классов (в случае кластерного анализа, например, с помощью алгоритма  $L$ -средних, вектор истинной классификации заменяется на оценки, полученные на соответствующем шаге алгоритма):

$$\hat{\theta}_i = \left( \sum_{t=1}^n \delta_{d_t, i} \right)^{-1} \sum_{t=1}^n \delta_{d_t, i} Y_t, \quad i \in S$$

### III. КЛАССИФИКАЦИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ КОВАРИАЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ

Используем модель (3), (4). Введем обозначения:

$$\bar{\sigma}_i = (\sigma_i(0), \sigma_i(1), \dots, \sigma_i(N))^T \in R^{N+1} \quad (6)$$

вектор, образованный из первых  $N + 1$  ковариаций (значений ковариационной функции, определяющих класс  $\Omega_i$ . Исходному наблюдению-реализации  $x_t = (x_{t1}, \dots, x_{tT_t})^T \in R^{T_t}$  длительности  $T_t$  поставим в соответствие наблюдение в пространстве оценок ковариационных функций:

$$y_t = (y_{t0}, y_{t1}, \dots, y_{tN})^T \in R^{N+1},$$

$$t = 1, \dots, n, n+1, \dots,$$

где

$$y_{th} = \frac{1}{T_t - h} \sum_{j=i}^{T_t-h} (x_{tj} x_{t, j+h})$$

– непараметрическая оценка ковариаций с лагом  $h$ , построенная по  $x_t$ .

Определим решающее правило:

$$d(y; \{\hat{\sigma}_i\}_{i \in S}) = \arg \min_{i \in S} |y - \hat{\sigma}_i|, \quad y \in R^{N+1}$$

РП относит наблюдение к такому классу, к "центру" которого оно ближе. В роли "центров" классов здесь выступают  $(N + 1)$  – вектора из (6), а в качестве меры близости используется метрика Евклида. Строим оценки для "центров" классов:

$$\hat{\sigma}_i = \left( \sum_{t=1}^n \delta_{d_t^0, i} y_t \right), \quad i \in S$$

### IV. ПРИМЕР: ПРОЦЕДУРА КЛАСТЕР-АНАЛИЗА

Построим процедуру кластер-анализа в пространстве МП-оценок параметров авторегрессии, основанную на алгоритме  $L$ -средних.

1. По исходной выборке  $X^n$  из (6) найдется выборка МП-оценок  $Y^n$ , из которой в качестве начальных приближений  $\{\hat{\theta}_i^{(0)}\}$ ,  $i \in S$  для «центров»  $\{\theta_i^0\}$ ,  $i \in S$  классов  $\{\Omega_i\}$  выбираются какие-либо  $L$  наблюдений  $Y_{j_1}, \dots, Y_{j_L}$ ,  $j_i \in \{1, \dots, n\}$ ;  $j_i \neq j_k$ ,  $i \neq k \in S$ ;
2. На  $l$ -м шаге ( $l = 0, 1, 2, \dots$ ) производится классификация выборки  $Y^n$ :

$$(\hat{d}_t^{(l)}) = \arg \min_{i \in S} |Y_t - \hat{\theta}_i^{(l-1)}|, \quad t = \overline{1, n},$$

т.е. строится оценка  $\hat{D}^{(l)} = (\hat{d}_1^{(l)}, \dots, \hat{d}_n^{(l)})$ ; для  $D^0$ , и уточняются оценки для «центров» классов:

$$\hat{\theta}_i^{(l)} = \left( \sum_{t=1}^n \delta_{\hat{d}_t^{(l)}, i} \right)^{-1} \sum_{t=1}^n \delta_{\hat{d}_t^{(l)}, i} Y_t, \quad i \in S$$

где  $\delta_{i,j}$  – символ Кронекера;

3. Итерационный процесс останавливается при достижении на  $l$ -м шаге ( $2 \leq l < \infty$ ) равенства  $\hat{D}^{(l)} = \hat{D}^{(l-1)}$ , и его результатом являются оценки  $\hat{D} := \hat{D}^{(l)}$  для вектора истинной классификации  $D^0$  и  $\hat{\theta} := \hat{\theta}^{(l)} \in R^{Lp}$  для составного вектора  $\theta^0$  параметров авторегрессии  $\theta_i^0$ ,  $i \in S$ .

### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена проблема классификации стационарных временных рядов. Предложены различные подходы к её решению, приведён алгоритм кластерного анализа в пространстве оценок максимального правдоподобия параметров авторегрессии, основанный на алгоритме  $L$ -средних.

1. Харин, Ю. С. Теория вероятностей, математическая и прикладная статистика : учеб. пособие / Ю. С. Харин, Н. М. Зуев, Е. Е. Жук. – Минск: БГУ, 2011. – 464 с.
2. Бокс, Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М. : Мир, 1974. – 406 с.
3. Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон. – М. : Мир, 1976. – 760 с.

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МОДЕРАЦИЯ МЕРОПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Нестерук А. В., Нестеренков С. Н.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: nesteruk0003@gmail.com, s.nesterenkov@bsuir.by

*Данный доклад посвящен разработке автоматизированной модели модерации мероприятий на основе нейронных сетей. Рассматриваются ключевые задачи модерации, архитектура системы, применение алгоритмов NLP и примеры сценариев работы модели. Обсуждаются преимущества автоматизации, а также возможные проблемы и вызовы, которые могут возникнуть при ее внедрении.*

## I. ВВЕДЕНИЕ

Модерация мероприятий становится актуальной задачей в условиях стремительно развивающихся цифровых платформ, где ежедневно публикуются тысячи событий. Традиционная ручная модерация требует значительных ресурсов и времени, что приводит к задержкам и ошибкам. Субъективные критерии модераторов создают неоднородность в оценке мероприятий. В условиях высокой нагрузки на модераторов необходимо автоматизировать этот процесс.

Автоматизированные системы модерации на основе нейронных сетей ускоряют обработку заявок и повышают качество. Использование таких систем снижает нагрузку на модераторов, позволяя сосредоточиться на сложных случаях и улучшении пользовательского опыта. В этом докладе рассматривается создание и внедрение автоматизированной модели модерации, а также преимущества и вызовы, с которыми может столкнуться такая система.

## II. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ МОДЕРАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ

Модерация мероприятий включает несколько ключевых задач, которые должны быть учтены при создании автоматизированной системы:

- **Анализ описания мероприятия:** проверка текста на наличие запрещенного контента и оскорбительных слов.
- **Проверка места проведения:** удостоверение, что место соответствует правовым нормам, с возможной интеграцией с внешними базами данных.
- **Категоризация мероприятия:** правильное отнесение события к категории, чтобы избежать публикации запрещенных тем.
- **Анализ изображений и медиа:** проверка изображений на наличие недопустимого контента, такого как насилие или сексуально откровенные материалы.
- **Мониторинг отзывов:** анализ реакции пользователей на мероприятия и выявление проблем.

Ключевые типы проблем, возникающие в процессе модерации:

- **Нарушение правовых норм:** публикация мероприятий, противоречащих местным законам.
- **Спам и мошенничество:** мероприятия, созданные для обмана пользователей.
- **Экстремистский контент:** информация, способствующая насилию или ненависти.
- **Ложная информация:** события с неверными данными о времени, месте или содержании.

## III. НЕЙРОННЫЕ СЕТИ КАК ИНСТРУМЕНТ МОДЕРАЦИИ

Нейронные сети – мощные инструменты для анализа данных, обеспечивающие высокую точность в распознавании паттернов. Различные типы нейронных сетей могут использоваться для решения задач модерации:

- **Сверточные нейронные сети (CNN):** для анализа изображений и выявления запрещенного контента.
- **Рекуррентные нейронные сети (RNN),** включая **LSTM:** для анализа текстовых описаний мероприятий.
- **Трансформеры:** современные архитектуры, такие как BERT и GPT, для анализа текстов на более высоком уровне.

В рамках модерации используется Natural Language Processing (NLP), которое включает обработку текстов для извлечения информации. Этапы NLP:

- **Токенизация:** разбиение текста на слова или фразы.
- **Стеминг и лемматизация:** приведение слов к корневой форме.
- **Анализ настроений:** определение эмоциональной окраски текста для выявления проблемных аспектов.

**Формула внимания** для модели трансформера:

$$Attention(Q, K, V) = softmax\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V$$

Где  $Q$  – матрица запросов (queries),  $K$  – матрица ключей (keys),  $V$  – матрица значений (values),  $d_k$  – размерность ключей.

Эта формула позволяет модели определять значимость частей текста в процессе анализа.

#### IV. АРХИТЕКТУРА ПРЕДЛАГАЕМОЙ МОДЕЛИ

Архитектура автоматизированной модели модерации состоит из нескольких этапов обработки данных:

- **Сбор и предобработка данных:** очистка текстов и изображений, нормализация данных.
- **Анализ текстового описания:** с использованием алгоритмов NLP и модели BERT осуществляется анализ содержания текста.
- **Анализ изображений:** с помощью CNN обрабатываются изображения, выявляя запрещенные элементы.
- **Оценка места проведения:** проверка законности места через интеграцию с базами данных.
- **Обратная связь и мониторинг:** анализ отзывов пользователей после мероприятия для улучшения алгоритмов.

Модель на основе NLP вычисляет вероятность нарушения правил с использованием логистической регрессии:

$$P(y|x) = \frac{1}{1 + e^{-w^T x}}$$

Где  $y$  – истинный класс,  $\hat{y}$  – предсказанный класс.

#### V. ПРИМЕРЫ СЦЕНАРИЕВ РАБОТЫ МОДЕЛИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ МОДЕРАЦИИ

Работа модели автоматической модерации может быть описана через несколько сценариев:

- **Автоматическая проверка и одобрение мероприятий:** пользователь создает новое мероприятие, модель анализирует описание и публикует его.
- **Автоматическая проверка с рекомендацией на ручную модерацию:** модель направляет мероприятие на ручную проверку, если описание вызывает сомнения.
- **Обработка жалоб после мероприятия:** модель анализирует отзывы и помечает событие для дальнейшего анализа.
- **Интеграция с внешними системами:** система проверяет места на легальность проведения мероприятий через внешние базы данных.

#### VI. ПРЕИМУЩЕСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И ВОЗМОЖНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Автоматизация модерации имеет ряд преимуществ:

- **Скорость обработки:** автоматизация сокращает время на модерацию.
- **Снижение нагрузки на модераторов:** освобождает их от рутинных задач.
- **Увеличение точности:** модели, обученные на больших объемах данных, обладают высокой точностью.
- **Непрерывный мониторинг:** автоматические системы могут работать круглосуточно. Однако существуют и возможные проблемы:
- **Ошибки в классификации:** ложные срабатывания при неправильной классификации контента.
- **Предвзятость алгоритма:** модели могут отражать предвзятости обучающих данных.
- **Этика:** автоматизация может не учитывать все культурные особенности мероприятий.
- **Защита данных:** необходимо соблюдать законы о защите информации и конфиденциальности.

#### VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматизированная модерация мероприятий с использованием нейронных сетей открывает уникальные возможности для повышения эффективности и точности обработки заявок. Системы, построенные на современных методах машинного обучения и NLP, могут минимизировать вмешательство человека и сократить время обработки. Важно находить баланс между автоматизацией и необходимостью человеческого контроля для обеспечения высоких стандартов качества.

#### VIII. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang, Y., & Zhao, H. (2018). Neural Networks for Natural Language Processing: An Overview. *Journal of Computer Science*, 14(3), 221–229.
2. Wang, X., & Liu, J. (2020). The Role of AI in Event Moderation: A Review. *International Journal of Event Management Research*, 15(1), 12–25.
3. Ghosh, A., & Kaur, H. (2021). Ethical Considerations in AI: A Systematic Review. *Journal of AI Ethics*, 3(2), 145–160.
4. Нестеренков, С. Н., & Белов, К. П. (2017). Модифицированный генетический алгоритм для обучения нейронной сети. В *Информационные технологии и системы 2017 (ИТС 2017): материалы международной научной конференции, Минск, 25 октября 2017 г.*, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.] (с. 204-205). Минск.
5. Каханович, А. И. Нейронные сети в системах распознавания текста : автореф. дисс. ... магистра технических наук : 1-40 80 02 / А. И. Каханович ; науч. рук. А. М. Севернёв.. – Минск : БГУИР, 2018. – 7 с.

# СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ КОРОТКОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ

Протко М. А.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mari.protko@mail.ru

*Для создания алгоритма анализа данных секвенирования коротких ридов, полученных по технологии Illumina/Solexa, для поиска по ним tandemных повторов необходимо убедиться в реализуемости поставленной задачи с достаточной точностью. Для этого нужно определить необходимые параметры точности для каждой ключевой характеристики системы, а затем смоделировать ее работу на худших и лучших случаях. По анализу данной модели возможно оценить реализуемость задачи.*

## ВВЕДЕНИЕ

Автором была поставлена задача поиска болезней экспансии по данным секвенирования Illumina/Solexa. Данные и сама задача были получены из института цитологии и генетики НАН РБ.

Если перефразировать задачу, то необходимо найти на данных с алфавитом, состоящим из четырех букв (A,T,C,G), необходимые последовательности «слов» (триплетов CAG, как в работе [1]), причем сам «текст» (файл fastq секвенируемого генома) состоит из множественного числа пропусков и опечаток, а страницы, на которых он был напечатан, были перепутаны с его копиями.

Возвращаясь к изначальной формулировке задачи, помимо основных повторений (также их называют «tandemными повторами»), характеризующих болезни экспансии, необходимо найти соседствующие с ними последовательности (на обоих концах повтора), которые называют маркирующими. Посредством маркирующих последовательностей найденный повтор возможно выровнять на представленный референсный геном и, соответственно, определить представленное заболевание.

Поставленная задача выполнима на технологии секвенирования Nanopore (ONT) и PacBio, что показано в работе [2], но возможна ли данная процедура на коротких ридов Illumina/Solexa?

### I. ЗАЧЕМ НУЖНА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ?

Поскольку идея использовать данные секвенирования для диагностирования (а не для исследования) достаточна нова в научном сообществе, практические разработки с четкими и доказанными примерами применения отсутствуют, а те, что имеются, принадлежат специфической и крайне недоступной технологии длинных ридов, получение которых весьма дорого.

Обычно процедура проверки наличия в геноме болезней экспансии подкрепляется сравнением результатов посредством иного, более точного теста. Данные сравниваются чаще всего с

некими химическими тестами на болезни экспансии ([3] – причем здесь только проверка наличия повторов, само же заболевание определяется по симптомам, что весьма проблематично для диагностирования некоторых атаксий на начальных стадиях) и после анализируются (процесс анализа состоит из очистки данных генома от заведомо ошибочных последовательностей и частичной сборки («выравнивания») на референтную последовательность). Проблема такого анализа в том, что каждый его этап состоит из множества допущений, исходящих из эвристического подхода, который постепенно в течение многих лет внедрялся по среднестатистическому успешному результату. Из вышеописанного следует, что специализированных инструментов анализа данных для поиска tandemных повторов нет, особенно на коротких рядах.

Учитывая то, что автор не располагает ни финансовыми, ни вычислительными ресурсами для проверки своих алгоритмов и гипотез, было решено смоделировать необходимые данные, чтобы оценить качество анализа данных fastq для секвенирования Illumina/Solexa.

### II. ОПРЕДЕЛЕННЫЕ «ПРОБЛЕМЫ»

При работе с созданием программного обеспечения для анализа данных генома существуют некоторые особенности, которые не позволяют сделать процесс максимально точным. Такими особенностями являются используемые алгоритмы (неправильное построение матрицы цен при выравнивании), неточность физико-химических реакций (ПЦР-амплификации и считывания цвета люминисценции при секвенировании, к примеру) и использование неподходящих инструментов на каком-либо этапе (обрезка праймеров с помощью trimomatic, который автоматически избавляется от повторяющихся последовательностей CAG, что заведомо гарантирует невозможность обнаружить tandemные повторы с ним).

Автором в процессе работы с множеством этих «особенностей» были выделены ключевые, которые значительно влияют на результат. Здесь

и далее они будут называться «проблемами», отличие их от «особенностей» в том, что «проблема» поддается анализу и математическому описанию (вероятность возникновения «проблемы» можно определить, а также присутствует градация для худших и лучших случаев).

Для решения поставленной задачи, необходимо проверить худшие и лучшие случаи, исходя из действия следующих «проблем»:

1. Короткие риды – длинная последовательность;
2. вероятность ошибки на чтении;
3. ошибки ПЦР-амплификации;
4. неправильный референсный геном;
5. остатки праймеров в анализируемых данных;
6. пропущенный фрагмент при парном чтении слишком большой.

Также достойны упоминания следующие упрощения поставленной задачи: автором рассматриваются только болезни экспансии в экзонной («кодируемой») области гена, причем для проявления болезни достаточна встреча только в одной паре гена из аллеля.

### III. ПРИМЕР РАБОТЫ С «ПРОБЛЕМОЙ»

Для работы с каждой определенной «проблемой» необходимо совершить следующие действия:

- Определить причину ее происхождения и параметры;
- определить формулы расчета ошибок (для каждого пункта 2.1-2.6 свои);
- определить «лучший» и «худший» возможные случаи;
- определить статистические закономерности, не учитывая конкретные свойства системы.

На выходе из всех этих шагов возможно получить математическую модель для поставленной «проблемы».

Рассмотрим подробнее «проблему» из списка 2.2. Задача – построить ее математическую модель таким образом, чтобы получить все возможные ошибки с заранее известной вероятностью.

Для ошибки секвенирования параметры ошибок подробно расписаны в инструкциях к модулям секвенатора [4].

Согласно официальному источнику [5], минимальным порогом качества является расчет процента выравнивания PhiX. Согласно ему, рекомендуемый минимум: 5% выравнивания данных (худший случай); для оптимальной производительности: 32%; для большого количества полиморфизмов: 40%. Самый лучший случай, которого возможно добиться на новом оборудовании – 94,9 %.

Автором был проведен анализ полученных данных секвенирования, согласно которому, с учетом вышеописанных свойств и параметров, ма-

тематическая модель 2.2. представляет собой создание данных с нужным error rate (для характеристик ошибки секвенирования используются величины  $p$  и  $q$ , из которых по формуле из [6] получается error rate ( $e$ )).

Добиться нужного error rate, дающего подобные анализируемым экспериментальным данным показатели распределения, возможно по формуле экспоненциального закона с применением метода инверсии функции распределения:

$$Y = a - \frac{1}{\lambda} \ln(1 - e^{-\lambda(b-a)}) \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – левая и правая границы интервала соответственно;  $\lambda$  – параметр масштаба интервала;  $x$  – число, взятое на промежутке значений из нормального распределения;  $Y$  – число, удовлетворяющее экспоненциальному закону (искомый error rate).

Подбор параметров формулы (1) совершается индуктивным методом на основе проведенного анализа закономерностей.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для успешного получения данных для полного покрытия тестами и получения ответа на вопрос, о возможности решения поставленной задачи на данной технологии необходимо построить такую математическую модель, которая позволяет регулировать выраженность каждого пункта (через вероятность возникновения ошибки) 2.1-2.6 как по отдельности, так и вместе. Таким образом, будет получен набор данных, в котором с абсолютной точностью будут определены представленные ошибки, что позволит проверять каждый последующий разрабатываемый алгоритм и его характеристики.

1. Протьюко, М. А. Об обработке данных высокопроизводительного секвенирования // Компьютерные системы и сети: сборник статей 60-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. –С. 18–22.
2. Ebbert Mark T. W. [и др.]: Long-read sequencing across the C9orf72 ‘GGGGCC’ repeat expansion: implications for clinical use and genetic discovery efforts in human disease // Molecular Neurodegeneration volume 13, Article number: 46 (2018)
3. Warner J.P. [и др.]: A general method for the detection of large CAG repeat expansions by fluorescent PCR // Journal of Medical Genetics 33(12):1022–6 DOI: 10.1136/jmg.33.12.1022, January 1997.
4. Illumina DNAPrep Reference Guide Document#100000025416v09 // ILLUMINA PROPRIETARY /June 2020
5. SAMUEL KARLIN [и др.]: Methods for assessing the statistical significance of molecular sequence features by using general scoring schemes // Proc. Natl. Acad. Sci. USA Vol. 87, pp. 2264-2268, March 1990 Evolution December 26, 1989
6. Mechanical DNA Fragmentation with the Q800R2 Sonicator / 2017, Illumina Prepare Library

# АЛГОРИТМЫ ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

Румас Р. А.

Кафедра телекоммуникаций и информационных технологий  
Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: antanana71@gmail.com

*В статье рассмотрены алгоритмы однонаправленной передачи данных в компьютерных сетях на основе архитектуры, обеспечивающей однонаправленную передачу данных на аппаратном уровне. Одной из проблем работы средств однонаправленной передачи данных является отсутствие в публичном доступе алгоритмов от существующих производителей, что препятствует исследованию и развитию этих решений. Предложенные алгоритмы направлены на решение задачи передачи файлов данных и событий информационной безопасности между различными информационными системами.*

## ВВЕДЕНИЕ

Вопрос защиты критических важных объектов информатизации (КВОИ) становится актуальнее на фоне развития сферы кибербезопасности [1-2] и необходимости взаимодействия объектов информационной инфраструктуры КВОИ с центрами кибербезопасности в рамках выполнения требований законодательства. Для решения указанной задачи целесообразно использовать надежные решения – средства однонаправленной передачи данных, исключив несанкционированный доступ на КВОИ. Решения однонаправленной передачи данных, предлагаемые на рынке, не раскрывают свои алгоритмы, что усложняет внедрение и адаптацию данных технологий в новых областях. В статье представлен набор алгоритмов для однонаправленной передачи файлов данных и событий информационной безопасности, которые обеспечивают передачу данных на физическом уровне через оптическую гальваническую развязку [3]. Основной задачей является обеспечение безопасной передачи данных в формате UDP-пакетов между информационными системами, исключая несанкционированный доступ.

## I. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Архитектура системы состоит из двух прокси-серверов: отправляющего и принимающего. Прокси-серверы соединены через физический однонаправленный канал, включающий два медиаконвертера и оптический сплиттер, что позволяет передавать исключительно UDP-пакеты [4]. На каждом из серверов реализуются специализированные алгоритмы для обработки и передачи данных в зависимости от типа информации. Все предложенные алгоритмы разрабатывались с учетом требований к безопасности, скорости передачи и минимизации потерь данных.

## II. АЛГОРИТМ ПЕРЕДАЧИ ФАЙЛОВ ДАННЫХ

Вопрос передачи файлов данных между информационными системами является одним из

актуальных, поэтому рассмотрим соответствующий алгоритм.

Прокси-сервер реализовывает две основные функции:

получение (передача) файлов данных непосредственно привычными двунаправленными протоколами из информационной системы, например FTP или SMB;

однонаправленная передача файлов данных через оптическую гальваническую развязку с прокси-сервера отправителя на прокси-сервер получатель.

Рассмотрим более подробно алгоритм однонаправленной передачи файлов данных.

1. На прокси-сервере отправителе работает программное обеспечение (ПО), которое проверяет в заранее определенной папке наличие файлов данных;
2. На прокси-сервере получателе запускается модуль ПО, например `udp-receiver` [5], который начинает прослушивать UDP-пакеты и ожидать получения пакетов через однонаправленный канал передачи данных;
3. В случае наличия файлов данных для передачи (на прокси-сервере отправителе) запускается модуль ПО, например `udp-sender` [5], который запускает процесс однонаправленной передачи файла данных через оптическую гальваническую развязку, используя транспортный протокол UDP из-за отсутствия обратной связи и невозможности установления TCP-соединения;
4. На прокси-сервере получателе после начала получения потока UDP-пакетов происходит сборка пакетов, проверка контрольных сумм и восстановление исходного файла;
5. После успешного получения и формирования файла данных на прокси-сервере получателе, оператор может получить передаваемый файл привычным двунаправленным протоколом, например FTP или SMB.

Если обнаруживается потеря пакетов, используется, например, метод прямой коррекции

ошибок (FEC) или повторная передача поврежденного файла данных, иницируемая оператором в ручном режиме по результатам анализа принятого файла.

Для решения вопроса с проверкой целостности файлов данных, которые передаются через однонаправленный канал данных, дополнительно можно использовать передачу файла с контрольными данными, например название передаваемого файла, хэш-сумма, размер. Указанная информация позволит прокси-серверу получателю проверить целостность принимаемого файла данных и иную техническую информацию.

### III. АЛГОРИТМ ПЕРЕДАЧИ СОБЫТИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Для передачи событий информационной безопасности (ИБ), например журналы событий систем или средств защиты информации, рассмотрим формализованный протокол syslog для передачи событий ИБ в режиме реального времени. Используются легковесные UDP-сообщения, которые содержат ключевые параметры события, включая метку времени, идентификатор события и краткое описание.

С учетом того, что однонаправленная передача данных обеспечивается на транспортном протоколе UDP, на котором в том числе работает syslog без необходимости преобразования пакетов, рассмотрим следующий алгоритм.

1. События ИБ поступают UDP-пакетами от источников, например от объектов информационной инфраструктуры КВОИ, на прокси-сервер отправитель. В свою очередь прокси-сервер отправитель реализует функционал по пересылке получаемых UDP-пакетов через ПО, например iptables для ОС Linux;
2. Пересылаемые UDP-пакеты с прокси-сервера отправителя через оптическую гальваническую развязку поступают на прокси-сервер получателя;
3. Прокси-сервер получателя реализует функционал по пересылке получаемых UDP-

пакетов через ПО, например iptables для ОС Linux, на систему централизованного сбора событий ИБ, например SIEM-систему.

Каждый из алгоритмов был адаптирован под специфику передаваемых данных, что делает возможным применение предложенных решений в различных сферах.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены алгоритмы однонаправленной передачи файлов данных и событий информационной безопасности для обеспечения надежной и безопасной работы, например при взаимодействии объектов информационной инфраструктуры критически важного объекта информатизации с центрами кибербезопасности. Представленные алгоритмы применимы в защищенных сегментах сетей, где необходимо обеспечить в том числе кибербезопасность и защиту от несанкционированного доступа на аппаратном уровне.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О кибербезопасности : Указ Президента Респ. Беларусь, 14 фев. 2023 г., № 40 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2023. – 1/20733.
2. О мерах по реализации Указа Президента Республики Беларусь от 14 февраля 2023 г. № 40 [Электронный ресурс] : приказ ОАЦ при Президенте РБ, 25 июля 2023 г., № 130 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – 2023. – 7/5425.
3. Воротницкий Ю. И., Румас Р. А. Оптическая гальваническая развязка при однонаправленной передаче данных // Квантовая электроника [Электронный ресурс] : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21–23 нояб. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: М. М. Кугейко (гл. ред.), А. А. Афоненко, А. В. Баркова. – Минск : БГУ, 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-985- 881-530-1. – С. 302–305.
4. Воротницкий Ю. И. Архитектура аппаратно-программного средства однонаправленной передачи данных в компьютерных сетях / Ю. И. Воротницкий, Р. А. Румас // Доклады БГУИР. 2023. Т. 21, № 3. С. 96–101. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-3-96-101>.
5. Udpcast. Command line tool [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.udpcast.linux.lu/cmd.html>. – Дата доступа: 01.10.2024.

# МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА: СТАНДАРТЫ И ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ РАЗРАБОТКИ

Сладиков А. С., Скиба И. Г.

Кафедра электронных вычислительных машин,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: pirigovanton906@gmail.com, i.skiba@bsuir.by

*В данной работе рассматривается микросервисная архитектура (MSA) как подход к разработке распределённых систем, где приложения делятся на независимые сервисы, отвечающие за конкретные функции. Освещаются ключевые принципы, такие как автономность, легкость коммуникации и возможность горизонтального масштабирования. Также подчеркиваются важные практики разработки, включая четкое разделение обязанностей, использование API-шлюзов и контейнеризацию. Работа акцентирует внимание на важности следования стандартам и лучшим практикам для оптимизации разработки микросервисов.*

## ВВЕДЕНИЕ

Микросервисная архитектура (Microservices Architecture, MSA) представляет собой подход к созданию распределённых систем, где приложение разделяется на небольшие, автономные сервисы, каждый из которых отвечает за определённую задачу или функцию. Каждый микросервис может разрабатываться, развёртываться и масштабироваться отдельно от других, взаимодействуя с ними через стандартизированные и лёгкие интерфейсы, такие как API. В данной работе будут рассмотрены ключевые принципы, стандарты и лучшие практики разработки микросервисной архитектуры.

### I. ПРИНЦИПЫ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Рассмотрим основные принципы микросервисной архитектуры [1]:

1. **Независимые сервисы:** Система делится на небольшие сервисы, каждый из которых выполняет конкретную задачу. Это позволяет легко развивать и тестировать их отдельно, а также повторно использовать в других проектах.
2. **Автономность:** Каждый микросервис может работать независимо, используя свои базы данных и технологии, что обеспечивает гибкость и адаптацию под конкретные задачи.
3. **Легкая коммуникация:** Взаимодействие между сервисами происходит через легкие, стандартизированные интерфейсы, таких как RESTful API или сообщения. Это упрощает интеграцию и общение между сервисами.
4. **Горизонтальное масштабирование:** Микросервисы позволяют масштабировать систему, добавляя или удаляя экземпляры сервисов для балансировки нагрузки и повышения отказоустойчивости.
5. **Независимое обновление:** Обновление и развертывание сервисов можно выполнять от-

дельно, без остановки всей системы, что ускоряет разработку и поддержку.

### II. ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ РАЗРАБОТКИ МИКРОСЕРВИСОВ

При разработке микросервисов важно следовать ряду проверенных временем практик, которые помогут избежать многих проблем [2–3]:

#### 1. Четкое разделение обязанностей

Каждый микросервис должен решать одну бизнес-задачу и иметь четкую ответственность, что упрощает его тестирование, сопровождение и модернизацию. Например, если у вас есть приложение для интернет-магазина, вы можете разделить его на микросервисы для обработки заказов, управления инвентарем, управления пользователями и платежной системы. Разделение обязанностей снижает связанность компонентов и уменьшает риск сбоев при изменениях.

#### 2. Использование «API-шлюза» (API Gateway)

Один из самых простых способов взаимодействия с микросервисами – это прямое обращение клиента к сервису, что подходит для небольших проектов. В крупных приложениях с множеством микросервисов можно использовать API Gateway – шлюз, который размещается между клиентским приложением и микросервисами, предоставляя единую точку входа для клиента.

В зависимости от задач API-шлюза, выделяют несколько его видов:

- Gateway Routing: Перенаправляет запросы клиента к нужному сервису;
- Gateway Aggregation: Распределяет запросы на несколько микросервисов и объединяет ответы;
- Gateway Offloading: Выполняет общие задачи всех сервисов, как аутентификация, логирование и тд.

Использование API Gateway позволяет сократить количество запросов на стороне клиента, абстрагировать клиента от про-

токолов, используемых в сервисах (REST, gRPC и др.), и централизованно управлять сквозными функциями. Однако, шлюз может стать единой точкой отказа и при отсутствии масштабирования — узким местом системы, поэтому его необходимо тщательно мониторить.

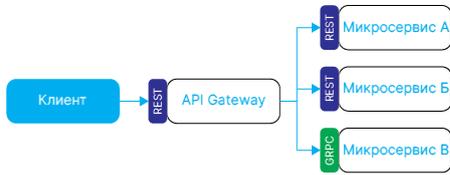


Рис. 1 – пример API Gateway

### 3. Контейнеризация

Использование контейнеров (например, Docker) является ключевой практикой для обеспечения стандартизированного развертывания микросервисов. Контейнеры позволяют изолировать каждый микросервис с его собственными зависимостями и окружением, обеспечивая стабильное и предсказуемое поведение на различных платформах.

### 4. Оркестрация и управление сервисами

Системы оркестрации контейнеров, такие как Kubernetes, позволяют эффективно управлять развертыванием микросервисов, их масштабированием и отказоустойчивостью. Оркестраторы занимаются автоматическим развертыванием, балансировкой нагрузки, мониторингом и восстановлением сервисов.

### 5. CI/CD процессы (Непрерывная интеграция и доставка)

Микросервисные системы требуют хорошо налаженных процессов непрерывной интеграции и доставки (CI/CD). Это необходимо для автоматического развертывания, тестирования и релиза новых версий микросервисов. CI/CD процессы минимизируют риски ошибок и позволяют быстрее и безопаснее внедрять новые функции.

### 6. Изолированное хранение данных

Каждый микросервис должен управлять своей собственной базой данных. Это важный аспект микросервисной архитектуры, так как он предотвращает тесную связанность между сервисами и обеспечивает децентрализованное управление данными. Изолированность данных позволяет микросервисам эволюционировать независимо.

### 7. Масштабирование и автоматизация

Микросервисная архитектура изначально проектируется с учетом горизонтального масштабирования. Это позволяет эффективно масштабировать отдельные сервисы

в зависимости от нагрузки, что делает систему более устойчивой к пиковым нагрузкам. Оркестраторы, такие как Kubernetes, предоставляют встроенные механизмы автоматического масштабирования.

### 8. Наблюдаемость и трассировка

В микросервисной архитектуре для обработки клиентских запросов часто участвуют несколько сервисов, выполняющих различные операции. С ростом числа таких сервисов становится все сложнее определить источник ошибок. Для решения этой проблемы, каждому запросу присваивается уникальный идентификатор (TraceId), который передается между сервисами и фиксируется в логах. Это помогает отслеживать запрос на всех этапах обработки.

Примером успешного применения микросервисной архитектуры являются компании, такие как Netflix, Amazon и Spotify. Они используют эту архитектуру для масштабирования систем, обеспечения отказоустойчивости и гибкости. Например, Netflix использует свыше 1000 микросервисов для каждой конкретной задачи, использует систему оркестрации микросервисов для обеспечения масштабируемости своей потоковой платформы, обрабатывающей миллионы запросов в день [4].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микросервисная архитектура предоставляет мощные инструменты для создания гибких, масштабируемых и отказоустойчивых систем. Применение стандартов и лучших практик, таких как разделение обязанностей, независимость развертывания и контейнеризация, помогает упростить разработку, тестирование и эксплуатацию микросервисных приложений. Внедрение микросервисов требует грамотного управления, мониторинга и безопасности, но при этом приносит значительные выгоды, особенно для крупных, динамически развивающихся проектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 14 Must Know Microservices Design Principles [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lambdatest.com/blog/microservices-design-principles/>. – Дата доступа: 27.02.2024.
- 26 основных паттернов микросервисной разработки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cloud.vk.com/blog/26-osnovnyh-patternov-mikroservisnoj-razrabotki>. – Дата доступа: 13.05.2021.
- Микросервисная архитектура [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://systems.education/microservices-architecture>. – Дата доступа: 23.07.2020.
- Netflix Architecture: How Much Does Netflix's AWS Cost? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cloudzero.com/blog/netflix-aws/>. – Дата доступа: 19.07.2024.

# МЕТОДЫ, ИНСТРУМЕНТЫ, ПРИМЕРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ ПОЛЕЙ

Таранчук В. Б.

Кафедра компьютерных технологий и систем, Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: taranchuk@bsu.by

*Обсуждаются вопросы обработки, аппроксимации, интеллектуального анализа, функционального описания цифровых полей. Рассмотрены различные варианты приближений, включая метод Кригинга. Введено понятие составного цифрового поля, предложены и рассмотрены различные способы автоматического разбиения исходных данных на подгруппы для построения составного цифрового поля и его функционального описания с реализацией алгоритма адаптивной аппроксимации в системе Wolfram Mathematica.*

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие цифровых технологий, усовершенствование аппаратных средств проведения измерений и диагностики предоставили доступ всевозможным сферам к большому объему информации, накопленных наблюдений и статистик. Как и любой вид информации, ценность она предоставляет лишь при корректном дальнейшем использовании. Именно поэтому сейчас актуальны вопросы исследования и анализа данных, правильного построения оценок и прогнозов. Значимую роль в современном мире играет исследование пространственных переменных, в частности, измерение геологических и геофизических показаний, проведение геоэкологических исследований для оценки состояния местности, сбор гидрометрических показателей для изучения океанов. Характерно для перечисленных и в отличие от других сфер – ограниченность возможности проведения наблюдений; геофизические и геоэкологические исследования, отправка экспедиций предполагают существенные затраты. Правильное прогнозирование, как распределений в пространстве на основе полученных наблюдений, так и составление оптимального плана организации наблюдений, позволяют реальному сектору сократить значимую часть расходов на исследования, добиться лучших результатов. В ракурсе отмеченного широкое распространение получила геостатистика; одновременное развитие цифровых технологий позволило ей проводить все более сложные вычисления, обеспечивающие качественные прогнозы.

### I. ЦИФРОВЫЕ ПОЛЯ.

Основные позиции предложенной и обсуждаемой методики заимствованы из основ исследований и интерпретаций пространственной информации с помощью статистических моделей. Цифровым полем далее обозначается трехмерная цифровая модель подлежащей аппроксимации изучаемой пространственной переменной. Обычно использование цифровой модели не предполагает наличие аналитического описания пространственной переменной – исходные данные, как правило, получают на основе собранной в циклах

отдельных наблюдений информации, часто на рассеянном (нерегулярном) множестве точек.

Современные технологии позволяют строить модели, наглядно визуализировать исходные, получаемые результаты и показатели различными способами. Для решения задач анализа пространственных данных разработаны, используются геоинформационные системы и системы компьютерной алгебры.

В данной работе при исследовании цифровых полей выбор сделан в пользу систем компьютерной алгебры, конкретно – одной из ведущих – системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, содержащей множество статистических и математических функций, инструментов когнитивной компьютерной графики.

### II. Типы цифровых полей, их анализ.

Основой цифрового поля являются: структурированное или неструктурированное множество точек наблюдений; область восстановления пространственной переменной; построенная по точкам наблюдения на области определения аппроксимирующая (по принятому методу, алгоритму) функция. Под структурированным множеством точек наблюдений подразумевается множество точек, расположенных на сетке или ограниченном числе прямых, либо в вершинах геометрических примитивов. Неструктурированные множества могут задаваться хаотическим набором пунктов наблюдений, неравномерно распределенных по области восстановления (рассеянное множество). Большинство прикладных задач связано с построением цифрового поля по хаотически расположенным пунктам наблюдений. Обычно, для случаев структурированных наборов проведение вычислений и построение цифровой модели значительно проще. Ввиду возможного выбора различных способов построения аппроксимирующей функции, цифровые поля для одного множества точек наблюдений, могут значительно отличаться.

В основе любого поля лежит аппроксимирующая функция, которая в прикладных задачах обеспечивает предсказания или оценки пространственной переменной в областях, не покрытых

наблюдениями. Как правило, наиболее часто для аппроксимации используется интерполяция, часто – в варианте, при котором значения аппроксимирующей функции в точках наблюдения совпадают с действительными. Сглаживающие методы аппроксимации, в отличие от интерполяционных, могут не сохранять значения в точках наблюдения. Методы интерполяции делятся на детерминированные и статистические. Первые – алгоритмы численного анализа. Вторые основаны на статистических методах и являются главным образом инструментами прогнозирования значений в неисследованных точках; рассматриваются в первую очередь статистические свойства – несмещенность оценки, дисперсия ошибки. Третьей, отдельной группой, является аппроксимация при помощи линии тренда. Она имеет сглаживающий характер и отражает общую тенденцию изменения данных.

*Вариограммы.* На первый взгляд множество наблюдений не содержит полезной информации о пространственной переменной помимо позиции точек наблюдения и значений в них. Методы геостатистики позволяют извлечь дополнительную информацию. Обеспечивают это вариограммы – Wolfram Mathematica содержит широкий набор инструментов для работы с вариограммами, функция VariogramModel позволяет задать предпочтительную из более 20 предопределенных моделей; функция BinnedVariogramList позволяет вычислить эмпирическую вариограмму на основе конкретного множества наблюдений.

*Интерполяция Кригинга.* Mathematica содержит набор инструментов для проведения интерполяции Кригинга. Ключевой является функция SpatialEstimate – принимает значения наблюдений и их позиций, возвращает функцию аппроксимации вместе с дополнительной информацией о ключевых показателях результата и процесса поиска (вариограмма, порядок тренда, порог шума), реализует "Универсальный метод Кригинга". В качестве параметров алгоритма можно уточнить функцию вариограммы и функцию тренда. При отсутствии явных значений, вариограмма вычисляется на наборе наблюдений при помощи функции EstimatedVariogramModel, автоматически подбирается функция тренда. При помощи параметра SpatialNoiseLevel можно определить порог перехода между локальным и глобальным трендом. Отдельно в докладе будут отмечены *Факторы качества восстановления*, влияние на точность цифрового поля плотности наблюдений, параметра *Удельная полезность*, критерия *Точность вариограммы*.

*Составные цифровые поля.* Изучение результатов аппроксимации рядов нестационарных про-

странственных переменных, позволило сформулировать идею и главное преимущество составных цифровых полей. Основное – возможности составления отдельных вариограмм, модели которых строятся по разным подмножествам наблюдений, для отдельных подобластей, минуя неустойчивый и ненадежный этап прогнозирования глобального тренда.

*Адаптивный алгоритм составления модели поля. План работы алгоритма.* На вход алгоритму подается начальное множество точек наблюдений их соответствующих значений. Отдельно, указывается количество этапов улучшения результата и соответствующие количества наблюдений, которые можно провести на каждом из этапов. Методом универсальной интерполяции Кригинга алгоритм выстраивает первоначальную функцию аппроксимации по начальному множеству наблюдений. В последующем, перед каждым из этапов, алгоритм рассчитывает оценку вариации точек наблюдения, а затем оценивает возможности разбиения множества наблюдений на отдельные (подобласти).

Если разбиение невозможно либо определяется недостоверным, дополнительные измерения проводятся в областях наименьшей плотности покрытия. Покрытие проводится отдельно в каждой области в пропорции площади и оценки улучшения ошибки (этап равномерного покрытия).

При возможности разбиения общей области исследования на отдельные подобласти, выбираются части с наилучшей оценкой улучшения ошибки. Эти подобласти добавляются в составное цифровое поле, включая все точки наблюдения, расположенные в них. Дополнительные расчеты проводятся в новых областях в пропорции оценки улучшения ошибки (этап образования подобласти). Наблюдения в существующих областях при вычислении оценки вариации и поиске новых областей не учитываются.

*Особенности, трудности настройки алгоритма.* Детали в докладе, только ключевые позиции – определение порогового значения для оценки точек возмущения, способ (метод, метрика) определения кластеров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*Эффективность алгоритма.* В финальной части проведены вычислительные эксперименты для оценок предложенного алгоритма на серии представительных (типовых) примеров с случайным набором наблюдений и данными наблюдений на сетке. Результаты будут представлены иллюстрациями и в таблице.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕБ-ПРОЦЕССОВ СЕТЯМИ ПЕТРИ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЗАДАЧ МЕЖДУ АГЕНТАМИ ЧЕРЕЗ WEBSOCKET

Хаджинова Н. В.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: khajynova@bsuir.by

*Современные веб-приложения характеризуются сложной архитектурой, множеством параллельных взаимодействий и необходимостью эффективного распределения ресурсов. Предложенный подход с использованием сетей Петри позволяет моделировать взаимодействие агентов через постоянные WebSocket-соединения, анализировать производительность, выявлять узкие места и предотвращать конфликты при распределении задач. Моделирование также помогает улучшить отказоустойчивость системы и оптимизировать распределение запросов.*

## ВВЕДЕНИЕ

Протокол связи WebSocket обеспечивает эффективное, двустороннее и долговременное соединение, что критично для систем, где требуется мгновенный обмен данными между сервером и клиентом. В современных веб-приложениях WebSocket активно используется, и интеграция его с сетями Петри может значительно оптимизировать и автоматизировать процессы. Сети Петри позволяют описывать поведение параллельных процессов, их синхронизацию и распределение задач, а также управление общими ресурсами, что делает их эффективным средством для анализа и оптимизации веб-процессов.

### I. РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ВЕБ-СРЕДЕ

Распределённые процессы в веб-среде – это процессы, которые выполняются на нескольких узлах, взаимодействующих через сеть для достижения общей цели [1, 2]. В контексте моделирования веб-процессов с распределением задач через WebSocket, агентами выступают автономные программные сущности, которые взаимодействуют друг с другом и сервером для выполнения задач. Агентами могут быть: пользовательские сессии, сервисные или служебные агенты, боты, микросервисы, брокеры или каналы данных, роли, закреплённые за пользователями. WebSocket обеспечивает двунаправленное постоянное соединение, что снижает задержки и упрощает управление задачами.

Использование сетей Петри позволяет моделировать взаимодействие агентов, анализировать распределение задач и управлять ресурсами с высокой степенью надёжности [3].

### II. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ЗАПРОСОВ

Постановка задачи: необходимо оптимизировать процесс обработки клиентских запросов сервером с доступом к базе данных (см. рис. 1). Диаграмма представляет взаимодействие между

клиентами (браузерами), сервером и базой данных [4].

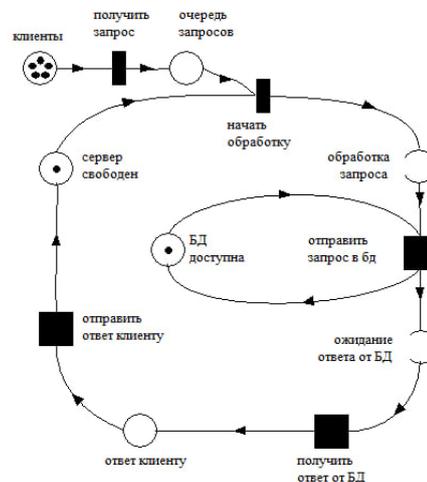


Рис. 1 – Диаграмма процесса до оптимизации

Каждый браузер, подключенный к серверу, может представлять отдельную сессию. Процесс начинается с отправки браузером запросов на сервер через WebSocket, которые попадают в очередь на обработку. Сервер, используя WebSocket, может отслеживать, какой пользователь подключён к какому браузеру, управлять сессиями и обменом данными между ними. Сервер обрабатывает запросы последовательно: получает запрос, отправляет его в базу данных, ожидает ответа и только потом возвращает результат клиенту. Сервер асинхронно обрабатывает запрос и уведомляет о прогрессе. После обработки результат отправляется обратно через WebSocket, что исключает необходимость повторных запросов. Для множества агентов WebSocket обеспечивает постоянное соединение, минимизируя задержки. Для моделирования выполнения процесса обработки сервером запросов клиентов написана функция, которая последовательно обрабатывает запросы (см. рис. 2, 3). Для событий устанавливается приблизительное время, и высчитывается время вы-

полнения запроса. Например, время обработки сервером тысячи запросов равно 8.1 с.

```
function processRequest(clientNumber, callback) {
  const receiveTime = 0.1;
  const processTime = 0.01;
  const sendDbTime = 0.1;
  const dbResponseTime = 0.4;
  const sendClientTime = 0.2;
  let totalTime = 0;
  totalTime += receiveTime;
  totalTime += processTime;
  totalTime += sendDbTime;
  totalTime += dbResponseTime;
  totalTime += sendClientTime;
  setTimeout(() => {
    callback(totalTime);
  }, totalTime);
}
```

Рис. 2 – Функция имитации процесса выполнения запроса

```
function simulateSync() {
  let totalExecTime = 0;
  let completedRequests = 0;
  const totalRequests = 1000;
  let index = 0;
  function processNextRequest(index) {
    if (index < totalRequests) {
      processRequest(index, (time) => {
        totalExecTime += time;
        completedRequests++;
        processNextRequest(index + 1);
      });
    } else {
      console.log(`Итоговое время: ${totalExecTime}`);
    }
  }
  processNextRequest(index);
}
```

Рис. 3 – Функция имитации синхронной обработки запросов сервером

Основная проблема этого подхода – длительное время ожидания. Чтобы сократить время, сервер может отправлять запросы в базу данных без ожидания завершения текущего, сразу готовясь к следующему запросу [5, 6]. Это уменьшает общее время выполнения, так как ожидание от базы данных совмещается с другими операциями (см. рис 4).

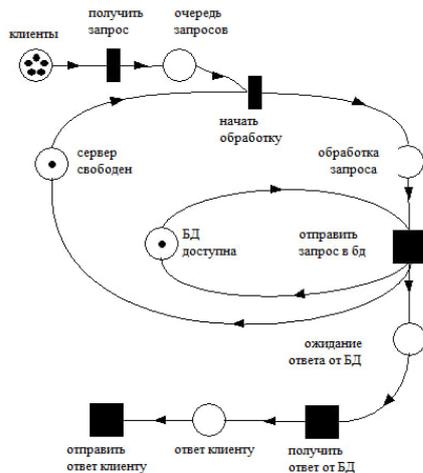


Рис. 4 – Диаграмма процесса после оптимизации

Для моделирования асинхронного процесса обработки запросов сервером написана функция, которая обрабатывает запросы не ожидая от них ответа (см. рис. 5). Время обработки сервером тысячи запросов в данном случае сокращается до 0,81 с, что доказывает эффективность оптимизации.

```
async function simulateAsync() {
  let totalExecTime = 0;
  const totalRequests = 1000;
  const promises = [];
  for (let i = 0; i < totalRequests; i++) {
    promises.push(simulateAsyncRequest(
      new Promise((resolve) => {
        processRequest(i, resolve);
      })
    ));
  }
  const results = await Promise.all(promises);
  totalExecTime = results.reduce((acc, time) => acc + time, 0);
  console.log(`Итоговое время: ${totalExecTime / totalRequests}`);
}
```

Рис. 5 – Функция имитации асинхронной обработки запросов сервером

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптимизация распределения задач через WebSocket значительно повышает производительность веб-приложений, устраняя задержки при установке новых соединений и сокращая время выполнения процессов. Постоянное соединение позволяет серверу обрабатывать несколько задач параллельно, эффективно используя ресурсы и снижая время простоя при ожидании откликов от базы данных.

Сети Петри, применяемые для моделирования веб-процессов, позволяют анализировать параллельные процессы, выявлять узкие места и сбалансировать нагрузку на сервер. Благодаря формальному математическому аппарату сетей Петри можно точно оценить задержки, определить источники конфликтов при доступе к ресурсам и предложить способы их устранения. Этот метод также помогает моделировать отказоустойчивость системы, прогнозировать её поведение при сбоях и минимизировать влияние этих сбоев на производительность.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котов В. Е. Сети Петри: Наука, 1984.
2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
3. Ломазова И. А. Моделирование мультиагентных динамических систем вложенными сетями Петри // Программные системы: Теоретические основы и приложения: Наука. Физматлит, 1999, с. 143–156.
4. Шелестов А. Ю. Моделирование GRID-узла на основе сетей Петри: Наука, 2009.
5. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
6. Бенькович Е. С., Колесов Ю. Б., Сениченков Ю. Б. Практическое моделирование динамических систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ И АНАЛИЗА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Шилин Л. Ю., Муравейко Р. О., Борисюк А. Р., Драгун Д. В.  
Кафедра информационных технологий автоматизированных систем,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: {ruslanmuraveiko, Arhip1227726}@gmail.com, ddragun2004@mail.ru

*В работе рассмотрены и объяснены метод генерации схемы электрической цепи и метод анализа цепи на техническом устройстве; решение схемы в матричном виде, понятном для технического устройства; затронута тема стандартизированного условного обозначения компонентов электрической цепи.*

## ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированная система генерации и анализа схемы электрической цепи представляет собой приложение, которое позволяет пользователям быстро и точно создавать электрические схемы, а также проводить их анализ с использованием различных методов. Такие системы не только упрощают процесс проектирования, но и минимизируют вероятность ошибок, связанных с ручным расчетом и моделированием [1].

### I. СТАНДАРТИЗИРОВАННОЕ УСЛОВНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЦЕПИ

Немаловажно отметить, что каждый компонент и проводник имеют стандартизированное условное отображение в приложении, установленное в ГОСТ 2.701-2008, ГОСТ 2.710-81, ГОСТ 2.755-87, ГОСТ 2.721-74 и других документах этой группы. В нашем случае, не будем придерживаться точных размеров компонентов, указанных в вышеперечисленных документах, а будем ссылаться на формы их представления для более удобного восприятия.

### II. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Процесс генерации схемы электрической цепи включает несколько ключевых этапов, каждый из которых играет важную роль в создании корректной и функциональной схемы. Рассмотрим эти этапы более подробно [2-4]:

1. Изначально пользователь задает начальные значения: выбирает метод решения, количество уравнений для выбранного метода, узлов, ветвей, а также тип тока: переменный или постоянный. Также важно, что количество ветвей зависят от количества узлов, а количество уравнений зависят от узлов и ветвей;
2. После нажимает на кнопку сгенерировать схему;
3. Система создает матрицу точек и их координат, которые соединяются в форме квадрата. Также все узлы и ветви нумеруются и сохраняются в соответствующих матрицах;

4. После система начинает по заданным параметрам генерировать схему, соединяя точки по углам квадрата и серединам ребер квадрата;
5. Затем считает количество активных элементов, которые должны присутствовать на цепи для соответствия с заданным числом уравнений в зависимости от выбранного пользователем метода;
6. Далее система распределяет все элементы на каждую ветвь. Каждый элемент нумеруется и сохраняется в матрице элементов;
7. После она заполняет матрицу циклов:
  - 7.1. начиная с активного элемента, система обходит все ветви схемы, формируя цикл. В процессе обхода она добавляет в цикл текущие элементы в порядке их следования. Также системе запрещается идти по уже пройденным ветвям. Конечная цель – вернуться к начальному элементу и получить цикл;
  - 7.2. затем происходит обработка циклов: система сравнивает каждый полученный цикл с каждым, удаляя при этом лишние;
  - 7.3. в итоге получает полную матрицу циклов;
8. Следом система генерирует числовые значения для каждого элемента, отталкиваясь от промежутков возможных числовых данных, заданных изначально в системе;
9. По завершении она отрисовывает схему электрической цепи и таблицу элементов, указав условное обозначение каждого элемента и его числовое значение.

### III. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА АНАЛИЗА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Анализ электрической цепи включает в себя определение токов и напряжений в её элементах. В нашем случае для анализа используется метод узловых потенциалов. В первую очередь приведем алгоритм определения матриц для анализа схемы [5]:

1. Сначала система составляет узловую матрицу следующим образом:

- 1.1. анализируя матрицу циклов, ищет ячейки, где сумма элементов по строке либо по столбцу равняется 1;
- 1.2. при нахождении данной ячейки, система объединяет данные элементы, причем первым элементом идет номер строки, вторым – номер столбца. Так получает ветви схемы и переносит найденные ветви в столбцы созданной узловой матрицы;
- 1.3. далее система, двигаясь по строкам матрицы циклов, ищет ячейки, где сумма элементов по строке либо по столбцу больше либо равна 2;
- 1.4. если такая ячейка найдена, то создается новая строка в узловой матрице, где -1 ставится элементу, который находится на горизонтали, а 1 элементу на вертикали. Остальным элементам, находящимся на рассматриваемой строке, ставится 0;
- 1.5. ту же работу система проделывает, двигаясь по столбцам, соответственно поменяв знаки на противоположные. Таким образом получает узловую матрицу;

2. Теперь система составляет диагональную матрицу проводимостей ветвей:

- 2.1. анализируя ветви схемы из полученной узловой матрицы, система составляет формулы для нахождения проводимости каждой ветви;
  - 2.2. обратившись к матрице элементов, находит численные данные. Также система учитывает тот факт, что у источника тока бесконечное внутреннее сопротивление, а у ЭДС внутреннее сопротивление равняется 0;
  - 2.3. зная все узлы схемы, система заполняет матрицу по диагонали;
3. Оставшиеся матрицы система формирует, используя ранее найденные матрицы. Для дальнейшего хода алгоритма она обнуляет в узловой матрице первый узел.

Теперь приведем алгоритм анализа схемы:

1. Система составляет матричную запись закона Ома для токов в ветвях, указав диагональную матрицу проводимостей, матрицу-столбец напряжений на зажимах ветвей, матрицу-столбец ЭДС и матрицу-столбец источников тока:

$$\dot{I} = \underline{Y} (\dot{U} + \dot{E}) - j$$

2. Далее умножает обе части равенства на узловую матрицу, учитывая первый закон Кирхгофа:

$$\underline{AY} (\dot{U} + \dot{E}) = A\dot{J}$$

3. После этого, принимая потенциал узла, для которого отсутствует строка в узловой мат-

рице, равным нулю, определяет напряжения на зажимах ветвей:

$$\dot{U} = A^T \dot{\phi}$$

4. Подставляя найденные напряжения в ранее составленное равенство, получаем матричное уравнение вида:

$$\underline{AY} A^T \dot{\phi} = A\dot{J} - \underline{AY} \dot{E}$$

5. Данное уравнение представляет собой узловые уравнения в матричной форме. Если обозначить:

$$\underline{Y}_y = \underline{AY} A^T$$

$$\dot{J}_y = A\dot{J} - \underline{AY} \dot{E}$$

то получим матричную форму записи уравнений, составленных по методу узловых потенциалов:

$$\underline{Y}_y \dot{\phi} = \dot{J}_y$$

6. В итоге, при анализе цепи с постоянным током система, решая данное уравнение, рассчитывает значения всех токов в ветвях в виде комплексного числа в алгебраической форме.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, автоматизированные системы генерации и решения схем электрических цепей становятся неотъемлемой частью современного проектирования в области электроники и электротехники. Их внедрение открывает новые горизонты для инженеров и студентов, позволяя им эффективно справляться с задачами, которые ранее требовали значительных временных и интеллектуальных ресурсов. В будущем можно ожидать дальнейшего развития таких систем, что приведет к еще большему повышению их функциональности и удобства использования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности современных программ автоматизированного анализа цепей [Электронный ресурс] / Студми. – Режим доступа: <https://studme.org/174058/tehnika/>. –Дата доступа: 20.10.2024.
2. Зевеке, Г. В., Ионкин, П. А., Нетушил, А. В., Страхов, С. В. Основы теории цепей: Учеб. для вузов – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528с.
3. Матханов, Х. Н. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи.: Учеб. для электротехн. и радиотехн. спец. 3-е изд. переработ. и доп. – М.: Высш. шк., 1990. – 400 с.
4. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учеб. для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1978. – 528 с.
5. Основы матричных методов расчета электрических цепей [Электронный ресурс] / Ландата. – Режим доступа: <http://www.ups-info.ru>. – Дата доступа: 20.10.2024.

# АКСИОМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЛОЖНЫХ АДАПТИВНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Шилин Л. Ю., Навроцкий А. А., Евдокимов В. Г.  
Кафедра информационных технологий автоматизированных систем,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: {dekfitu, navrotsky}@bsuir.by, vigandvdk@gmail.com

*Предлагается фундаментальный теоретико-методологический базис для исследования и проектирования сложных адаптивных экосистем, основанный на аксиоматическом подходе. Разработанная модель позволяет определить принципиальные закономерности эволюционного развития многоуровневых структур и устанавливает границы их автономной трансформации в контексте современных технологических экосистем.*

## ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях стремительного технологического развития особую актуальность приобретает проблематика разработки и интеграции сложных систем, требующая комплексного научного подхода к их исследованию и формализации. Принципиально важным становится понимание таких экосистем как самоорганизующихся структур, где взаимодействие компонентов порождает новые системные свойства, не сводимые к сумме характеристик отдельных элементов [1]. Это требует пересмотра традиционных подходов к проектированию, где система рассматривается как механистическая совокупность частей. Многогранность данной задачи обусловлена не только технической сложностью реализации, но и необходимостью учета множества взаимосвязанных факторов, влияющих на эффективность функционирования сложных адаптивных интеллектуальных экосистем [2].

Основная цель данного исследования заключалась в разработке методологического подхода к систематизации и формализации процессов создания и интеграции сложных систем с использованием аксиоматического моделирования. Данный подход позволяет не только структурировать существующие проблемы разработки и внедрения, но создать теоретический базис для их эффективного решения.

### 1. КЛЮЧЕВЫЕ ВЫЗОВЫ И СИСТЕМНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ

В результате анализа современного состояния развития промышленных экосистем выявлен комплекс взаимосвязанных проблем, требующих системного решения. Существующие подходы к интеграции сложных систем демонстрируют ряд критических ограничений, препятствующих эффективному развитию киберфизических и интеллектуальных экосистем в контексте технологий Индустрии 4.0 и 5.0:

#### 1. Технологические ограничения

Ключевой проблемой является отсутствие унифицированных и обратно совместимых

протоколов взаимодействия между гетерогенными компонентами различных производителей, что существенно затрудняет процесс системной интеграции [1]. Формализация данной проблемы может быть представлена как:

$$C_{int} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} P_{ij},$$

где:

- $C_{int}$  – комплексный показатель сложности интеграции,
- $P_{ij}$  – параметры совместимости протоколов,
- $\alpha_{ij}$  – весовые коэффициенты значимости,
- $n, m$  – количество систем и протоколов соответственно.

#### 2. Концептуальные вызовы

Отсутствие единой методологии проектирования сквозных процессов создает существенные барьеры при построении целостных экосистем. Проблема усугубляется несогласованностью моделей данных и бизнес-процессов между различными компонентами, что может быть описано следующим образом:

$$E_{sys} = f(M_d, P_b, I_c),$$

где:

- $E_{sys}$  – эффективность экосистемы,
- $M_d$  – модели данных,
- $P_b$  – бизнес-процессы,
- $I_c$  – информационные связи.

#### 3. Практические и управленческие аспекты

В ходе комплексного анализа существующих подходов к управлению интегрированными интеллектуальными и киберфизическими системами были выявлены критические системные ограничения и методологические барьеры в области управления сложными многокомпонентными экосистемами, которые существенно снижают эффективность их функционирования и требуют раз-

работки новых концептуальных решений. К основным ограничениям относятся:

- сложность координации автономных подсистем;
- отсутствие механизмов разрешения конфликтов;
- проблемы оптимального распределения ресурсов;
- необходимость баланса между автономностью и централизацией.

## II. АКСИОМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

На основе выявленных критических ограничений в области управления интегрированными интеллектуальными и киберфизическими системами предлагается рассмотреть концепцию аксиоматической модели, формализующей принципы эффективного взаимодействия компонентов гетерогенных экосистем. Аксиоматическая модель сложных экосистем базируется на следующих основополагающих положениях:

1. Базовые системные аксиомы (определяющие фундаментальные свойства):
  - АТИС – Аксиома топологической инвариантности систем: Определяет неизменные базовые принципы системы;
  - АСГР – Аксиома системной гомеостетики: Обеспечивает устойчивость экосистемы;
  - АМСБ – Аксиома минимального системного базиса: Определяет критический минимум ресурсов для обеспечения базовой работоспособности;
  - АЭСО – Аксиома энтропийной самоорганизации: Оптимизация распределения ресурсов и ресурсный баланс.
2. Аксиомы адаптивности:
  - АМАС – Аксиома морфоадаптивной самоорганизации: Обеспечение гибкости реагирования и координация процессов адаптации;
  - ААСР – Аксиома автономной системной регуляции: Обеспечение локальной автономности и поддержание распределенного принятия решений;
  - АСЭС – Аксиома системной эмерджентности и синергии: Создание синергетических эффектов и интеграция локальных инноваций.
3. Эволюционные аксиомы:
  - АСБР – Аксиома самоорганизующейся бифуркации и развития: Контроль внедрения изменений и управление рисками инноваций;
  - АДСБ – Аксиома динамического системного баланса: Обеспечение баланса

развития и стабильности, координация инновационных процессов;

- АКСР – Аксиома когнитивной самореференции: Обеспечение накопления опыта, обеспечение самосовершенствования.
4. Управляющие аксиомы:
    - АПСМ – Аксиома предиктивной системной модификации: Обеспечение прогнозирования изменений, координация планирования развития;
    - АДСФ – Аксиома детерминированной системной функциональности: Обеспечение предсказуемости функционирования, обеспечение надежности взаимодействия.
  5. Стратегические аксиомы:
    - АУРС – Аксиома устойчивого развития систем: Обеспечение долгосрочного развития, поддержание системной устойчивости;
    - АТСС – Аксиома темпоральной системной синхронизации: Координация временных параметров, согласование целей развития;
    - АПВС – Аксиома полиморфной вариативности систем: Обеспечение системного разнообразия, обеспечение множественности путей развития.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная аксиоматическая модель представляет собой фундаментальный инструментарий для создания сложных адаптивных интеллектуальных экосистем нового поколения. Пятнадцать взаимосвязанных аксиом, организованных в функциональные группы, формируют теоретическую основу для интеграции искусственного интеллекта, цифровых двойников и систем распределенного принятия решений в единую экосистему. Предложенная модель обеспечивает комплексный подход к управлению процессами цифровой трансформации и развитию интеллектуальных экосистем, что способствует формированию адаптивных и устойчивых социо-технических систем, где технологии служат инструментом повышения качества жизни и благополучия человека в рамках устойчивого развития общества будущего.

## III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A. Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context // *Computers & Industrial Engineering*. – Elsevier, 2017. – Vol. 113. – P. 144–159.
2. Ustundag, A., Cevikcan, E. *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* // Springer Series in Advanced Manufacturing. – Springer International Publishing, 2018. – 1st ed. – 286 p.

# АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО НЕПОЛНЫМ ДАННЫМ

Ючков А. К., Хаджинова К. А., Навроцкий А. А.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

E-mail: 0-kael007-0@proton.me, xju2005@gmail.com, navrotsky@bsuir.by

*Рассматривается проблема неполных данных в социологических исследованиях, предлагаются нейросетевые подходы для их анализа. Исследуются архитектуры нейросетей, такие как многослойные перцептроны и рекуррентные сети, которые могут улучшить качество социологических выводов.*

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Социологические исследования помогают понять общественные процессы, но часто собранные данные бывают неполными, что приводит к искажению результатов [1].

Неполные данные возникают по различным причинам: респонденты могут не ответить на вопросы, данные могут быть потеряны или некорректно записаны. Это создает сложности в анализе, так как традиционные статистические методы не всегда эффективны. Нейросети, благодаря своей гибкости и способности обучаться на больших объемах информации, могут предложить более гибкие решения.

Среди различных типов нейросетей наиболее популярными являются многослойные перцептроны (*MLP*) и рекуррентные нейронные сети (*RNN*). *MLP* хорошо подходит для обработки структурированных данных, тогда как *RNN* эффективны для последовательных данных, что может быть полезно при анализе временных рядов в социологии.

## I. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа неполных данных в социологических исследованиях была разработана методология, включающая несколько ключевых этапов [2], позволяющих оценить эффективность нейросетевых моделей в обработке как полных, так и неполных данных.

Исходной базой данных для исследования послужил набор данных, собранный в рамках социологического опроса [3], изначально не содержащий пропусков в ответах респондентов и включающий разнообразные переменные, такие как демографические характеристики, мнения по социальным вопросам и поведенческие данные. Для моделирования условий реальных социологических исследований были искусственно созданы пропуски в данных, выбраны следующие методы удаления: *случайное* (пропуски были введены случайным образом в определенный процент ответов; что позволяло имитировать различные уровни неполноты данных, с которыми могут столкнуться исследователи на практике) и *систематиче-*

*ское* (в некоторых случаях пропуски создавались целенаправленно для определенных переменных для оценки влияния).

Для сравнения эффективности обработки полных и неполных данных выбраны две модели нейросетей:

1. Многослойный перцептрон: модель выбрана за ее способность обрабатывать структурированные данные и выявлять сложные зависимости между переменными [4].
2. Рекуррентная нейронная сеть: модель выбрана для анализа последовательных данных, что особенно важно для временных рядов и динамических изменений во мнениях респондентов [5].

Перед обучением моделей данные прошли несколько этапов подготовки. Все числовые переменные были нормализованы для обеспечения однородности масштабов, что важно для нейросетей, так как они чувствительны к масштабу входных данных. Категориальные переменные преобразованы в числовой формат с использованием методов кодирования, таких как *one-hot encoding* или *label encoding*.

Для создания нескольких полных наборов данных использовались методы иммутации. Пропущенные значения заменялись на случайные из распределения существующих данных или на средние по соответствующим переменным. В обучении моделей применялись маски, указывающие на отсутствие значений в определенных ячейках для учета пропусков и адаптации к условиям неполноты.

Модели *MLP* и *RNN* обучены на различных наборах данных: сначала обучались на *полных наборах данных* без пропусков для установления базового уровня производительности, затем они обучались на наборах с *различными уровнями пропусков*. Для каждой модели проводилось несколько экспериментов с различными конфигурациями гиперпараметров (количество слоев, количество нейронов в каждом слое, скорость обучения и т.д.).

Эффективность моделей оценивалась с использованием следующих метрик: *точность* (до-

ля правильно предсказанных значений от общего числа предсказаний), *полнота* (способность модели находить все положительные примеры), *F1-мера* (гармоническое среднее между точностью и полнотой, что позволяет учитывать баланс между этими двумя метриками).

Проводился анализ ошибок для выявления закономерностей в неправильных предсказаниях, что помогло понять, какие типы неполноты данных наиболее критичны для каждой модели.

В ходе исследования проведена оценка эффективности нейросетевых моделей – многослойных перцептронов и рекуррентных нейронных сетей – в обработке как полных, так и неполных данных. Модели обучались на наборах с различными уровнями пропусков. Для каждой модели проводилось несколько экспериментов с различными конфигурациями гиперпараметров (количество слоев, количество нейронов в каждом слое, скорость обучения и т.д.).

## II. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

При обучении моделей на полных данных обе модели продемонстрировали высокую точность и согласованность результатов. *RNN* модель также показала высокую точность, приблизительно 93%, что подтверждает ее способность работать с временными рядами и последовательными данными. *MLP* модель достигла точности около 95% на текстовом наборе, что свидетельствует о ее способности эффективно выявлять сложные зависимости между переменными.

При переходе к анализу неполных данных результаты значительно варьировались в зависимости от уровня пропусков и выбранной модели:

- **10% пропусков.** Точность *MLP* снизилась на 90%. Модель все еще показывала хорошие результаты, используя методы импутации для заполнения пропусков. Точность *RNN* также снизилась до 88%. Однако модель продемонстрировала способность учитывать временные зависимости, что помогло сохранить качество предсказаний;
- **20% пропусков.** Точность *MLP* упала до 85%. Это снижение связано с тем, что модель менее устойчива к случайным пропускам, особенно когда они касаются ключевых переменных. Точность *RNN* составила 82%. Несмотря на снижение производительности, модель все еще сохраняла способность анализировать временные ряды, что помогало в некоторых случаях предсказывать отсутствующие значения;
- **30% пропусков.** Точность *MLP* снизилась до 78%, что подчеркивает уязвимость модели к высокой степени неполных данных и делает ее менее предпочтительной для таких условий. Точность *RNN* составила 75%. Несмотря на значительное снижение производительности, *RNN* показала лучшие результаты по сравнению с *MLP* в условиях

высокой неполноты, что свидетельствует о ее устойчивости к отсутствующим данным.

### Выводы по результатам анализа:

*RNN* показала большую устойчивость к неполноте данных по сравнению с *MLP*, что связано с ее способностью учитывать предшествующие состояния и временные зависимости.

Использование методов импутации оказало положительное влияние на производительность *MLP* при низком уровне неполноты. Однако при увеличении пропусков эффективность этих методов значительно снизилась.

В ходе анализа ошибок было установлено, что *MLP* чаще всего ошибалась при предсказании значений для переменных с высокой дисперсией. *RNN* же показывала более стабильные результаты даже при наличии значительных пропусков, но иногда не могла корректно предсказать изменения во временных рядах при резких скачках данных.

Визуализация результатов представлена на рисунке 1.

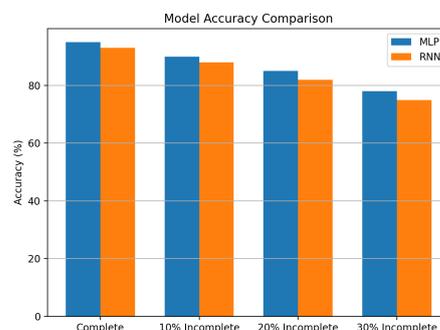


Рис. 1 – Сравнение точности моделей

Результаты исследования подтверждают, что неполнота данных существенно влияет на результаты социологических исследований. Нейросети могут эффективно обрабатывать такие данные, но выбор модели и метода обработки критически важен. *MLP* лучше подходит для статических данных, а *RNN* – для динамических изменений.

1. National Library of Medicine [Electronic resource] : The prevention and handling of the missing data. – Mode of access: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3668100/>. – Date of access: 20.10.2024
2. Gordon D, Petousis P, Zheng H, Zamanzadeh D and Bui AA (2021) TSI-GNN: Extending Graph Neural Networks to Handle Missing Data in Temporal Settings. *Front. Big Data* 4:693869. doi: 10.3389/fdata.2021.693869
3. United Nations [Electronic resource] : International Migrant Stock 2020. – Mode of access: <https://www.un.org/development/desa/pd/content/international-migrant-stock>. – Date of access: 18.10.2024
4. TensorFlow [Electronic resource] : An end-to-end platform for machine learning. – Mode of access: <https://www.tensorflow.org/>. – Date of access: 20.10.2024
5. Keras [Electronic resource] : Keras – simple, flexible, powerful. – Mode of access: <https://keras.io/>. – Date of access: 20.10.2024

# HOW TO EXTRACT MEANING FROM A PHRASE

Zhang Caigui, Yu.German

Department of Information Technologies in Automated Systems,  
Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: zhangcaigui309@gmail.com, jgerman@bsuir.by

*This paper describes how the word vector model and the BERT model and its derivatives can be used to extract meaning from a phrase.*

## INTRODUCTION

In the field of Natural Language Processing (NLP), extracting meaning from phrases is a fundamental challenge that underpins a wide range of applications such as sentiment analysis, information retrieval and question answering systems.

Traditionally, meaning extraction has relied on lexical and syntactic approaches that focus on the components of language - words and their grammatical relationships. However, these approaches often fall short when dealing with idiomatic expressions, contextually relevant phrases, or polysemous words (which have multiple meanings depending on their usage). To address these limitations, modern techniques utilize advanced machine learning models, especially those based on deep learning architectures.

This report focuses on the application of traditional word vector models Word2Vec and GloVe as well as the BERT model and its derivatives of modern contextual embedding techniques in extracting the meaning of phrases.

### I. WORD2VEC MODEL

Word2Vec is an algorithm for converting words into vectors, widely used in Natural Language Processing (NLP) tasks, that employs deep learning techniques to efficiently capture the semantic relationships between words.

There are two main training models for Word2Vec: CBOW (Continuous Bag of Words) and Skip-gram, but they are trained differently.

The goal of CBOW model is to predict the target word from context words. Given a sentence, it tries to predict the center word using the surrounding words. For a given context:

$$C = \{w_{t-m}, w_{t-m+1}, \dots, w_{t+m}\} \quad (1)$$

the center word is  $w_t$ , the objective function of CBOW can be expressed as:

$$J = - \sum_{t=1}^T \log P(w_t | C) \quad (2)$$

where  $P(w_t | C)$  is the probability of predicting the center word  $w_t$  given the context  $C$ .

The core idea of Skip-gram model is opposite to CBOW. Its goal is to predict the context word from the current center word. Skip-gram focuses on the relationship between the center word and its surrounding words. Given the center word  $w_t$  and the context words:

$$C = \{w_{t-m}, w_{t-m+1}, \dots, w_{t+m}\} \quad (3)$$

the objective function for Skip-gram can be expressed as:

$$J = - \sum_{t=1}^T \sum_{w_j \in C} \log P(w_j | w_t) \quad (4)$$

where  $P(w_j | w_t)$  is the probability of predicting the context word  $w_j$  given the center word  $w_t$ .

## II. GLOVE MODEL

The core idea of GloVe is based on word co-occurrence statistics, using global statistical information to generate word vectors. GloVe constructs a co-occurrence matrix that records the co-occurrence frequency of each pair of words in the corpus.

Specific steps: first, count the number of times each pair of words co-occurs in a certain window, and build the co-occurrence matrix  $X$ , where  $X_{ij}$  is the co-occurrence frequency of word  $i$  and word  $j$ . Then, calculate the co-occurrence probability of each pair of words, defined as:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_k X_{ik}} \quad (5)$$

after that, the cost function is constructed to optimize the word vectors:

$$J = \sum_{i,j=1}^V f(X_{ij}) (\mathbf{w}_i^T \mathbf{w}_j + b_i + b_j - \log(X_{ij}))^2 \quad (6)$$

where  $f(X_{ij})$  is the weighting function and  $b_i$  and  $b_j$  are bias terms.

Finally, optimization algorithms such as gradient descent are used to minimize the cost function and learn the word vectors.

## III. BERT MODELS

BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) is a pre-trained language model based on the Transformer architecture.

The core idea of BERT is to generate contextual embeddings for words through unsupervised learning on a large-scale text dataset. Its main training objectives are twofold:

1. **Masked Language Model (MLM)**: In the input sentence, some words are randomly masked, and the model’s task is to predict these masked words. This allows the model to learn the relationships between words and their context.
2. **Next Sentence Prediction (NSP)**: Given two sentences, the model needs to determine whether the second sentence is the next sentence of the first one. This task helps the model understand the relationships between sentences.

The input to BERT consists of token embeddings, position embeddings, and segment embeddings for the input words.

BERT is composed of multiple stacked Transformer encoders. The core of each encoder is the self-attention mechanism, which is defined by the following formula:

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V \quad (7)$$

where  $Q$  is the query vector.  $K$  is the key vector.  $V$  is the value vector.  $d_k$  is the dimension of the key vector.

In the task of extracting the meaning of short sentences, the BERT model can be applied through the following steps:

1. **Input Preparation**: Convert the short sentence into a format acceptable to BERT, adding special tokens (such as [CLS] and [SEP]).
2. **Feature Extraction**: Input the short sentence into the BERT model to obtain the contextual embeddings for each word.
3. **Sentence Representation**: Typically, the output corresponding to the [CLS] token is used as the representation for the entire sentence, to perform subsequent tasks (such as classification or regression).
4. **Downstream Tasks**: Utilize the obtained sentence representation for specific downstream tasks, such as sentence similarity calculation and sentiment analysis.

#### IV. DERIVATIVE MODELS OF BERT

The success of BERT has led to the emergence of several derivative models, such as:

1. **RoBERTa**: An improvement over BERT that utilizes larger training data, longer training times, and removes the NSP task.
2. **DistilBERT**: A model that compresses BERT using knowledge distillation techniques,

reducing computational load while maintaining high performance.

3. **ALBERT**: A model that significantly reduces the number of parameters through parameter sharing and factorized embedding matrices.

#### V. SUMMARY

This report examines the applications of Word2Vec, GloVe, and BERT, along with its derivative models, in extracting the meaning of short sentences.

Word2Vec generates word embeddings by analyzing local context through methods like Continuous Bag of Words and Skip-Gram. GloVe focuses on global statistical information to create embeddings that capture word relationships from a co-occurrence matrix.

BERT takes a step further by using a transformer architecture and bidirectional context, trained on tasks like Masked Language Model and Next Sentence Prediction, which enhances its ability to understand nuanced meanings in sentences.

Derivative models such as RoBERTa, DistilBERT, and ALBERT improve upon BERT by optimizing training data, reducing model size, and sharing parameters, respectively, making them efficient for various NLP tasks.

Overall, these models collectively advance the capabilities of NLP in understanding and processing short sentences effectively.

1. Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G. S., & Dean, J. (2013). Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality. In *Advances in Neural Information Processing Systems* (pp. 3111-3119).
2. Pennington, J., Socher, R., & Manning, C. D. (2014). GloVe: Global Vectors for Word Representation. In *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)* (pp. 1532-1543).
3. Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. In *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies* (pp. 4171-4186).
4. Liu, Y., Ott, M., Goyal, N., Du, J., Joshi, M., Chen, D., ... & Stoyanov, V. (2019). RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach. *arXiv preprint arXiv:1907.11692*.
5. Lan, Z., Chen, M., Goodman, S., Goot, J., & Wang, W. (2020). ALBERT: A Lite BERT for Self-supervised Learning of Language Representations. In *Proceedings of the 34th AAAI Conference on Artificial Intelligence* (pp. 13633-13634).
6. Lewis, M., Liu, Y., Goyal, N., Ghazvininejad, M., Ott, M., ... & Stoyanov, V. (2020). BART: Denoising Sequence-to-Sequence Pre-training for Natural Language Processing. In *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (pp. 7871-7880).

# A FALL DETECTION ALGORITHM BASED ON THREE-AXIS ACCELERATION

Zhang Yulong, Rybak V.A.

Department of Information Technologies in Automated Systems,  
Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: 156667752@qq.com, v.rybak@bsuir.by

*In this article, a fall detection algorithm is designed, which mainly uses three parameters to judge the fall behavior, including impact, oscillation, and positive and negative.*

## INTRODUCTION

When a person falls, the center of gravity will be rapidly reduced, and at the same time, the acceleration in the Z-axis direction will quickly reach its peak, and when it collides with the ground, it will produce a larger acceleration, the direction of the acceleration is opposite to the direction of the collision, after the fall, the human body will be in a relatively stationary state, and the acceleration will be in a relatively flat and small state. It can be seen that during a human fall, the acceleration will have two peaks in opposite directions.

### I. JUDGMENT OF IMPACT

The sum of the three axial acceleration ranges can indicate the degree of change in the fall signal, so this parameter is used first. Let the maximum value of acceleration in the x-axis be  $\max(a_x)$ , the minimum value will be  $\min(a_x)$ , and the maximum value of acceleration in the y-axis will be  $\max(a_y)$ , the minimum value is  $\min(a_y)$ , and the maximum value of z-axis acceleration is  $\max(a_z)$  and the minimum value is  $\min(a_z)$ . The three-axis acceleration extremes are  $\Delta A_x = \max(a_x) - \min(a_x)$ ,  $\Delta A_y = \max(a_y) - \min(a_y)$ , and  $\Delta A_z = \max(a_z) - \min(a_z)$ , then the sum of the three-axis acceleration ranges in 4 seconds  $\Delta A$  is defined as:

$$(\Delta A = \Delta A_x + \Delta A_y + \Delta A_z)$$

### II. DETERMINE THE OSCILLATION

In the process of falling, the acceleration will be in a state of oscillating back and forth at the zero-crossing point, so in the process of falling, the zero-crossing points of the three-axis acceleration will increase dramatically, so the sum of the zero-crossing points is used to detect the oscillation of the fall signal. Let the number of zero-crossing points of the x-axis acceleration be  $zero_x$ , the number of zero-crossing points of the y-axis acceleration be  $zero_y$ , and the number of zero-crossing points of the z-axis acceleration be  $zero_z$  in 4 seconds, then the

sum of the zero-crossing points is defined as:

$$Zero = zero_x + zero_y + zero_z$$

### III. DETERMINE THE POLARITY

The three-axis sign function is used to detect the polarity of the fall signal when a person falls and collides with the ground.

$$\text{sign} = \begin{cases} 1 & \text{if } \begin{cases} \max(a_x) \times \min(a_x) < 0 \\ \wedge \max(a_y) \times \min(a_y) < 0 \\ \wedge \max(a_z) \times \min(a_z) < 0 \end{cases} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

### SLIDING WINDOW PROCESSING

The three-axis acceleration data is stored using three arrays with a size of 120: xAccArr, yAccArr, and zAccArr. By adjusting the upload frequency of the sensor to 30Hz, which means uploading 30 data packets per second, the reason for setting the array size to 120 is to facilitate sliding window processing. When the data size of the array reaches 120, a process similar to entering and exiting the queue begins. Each data is moved forward by 1 bit and processed and judged, thus achieving sliding window processing.

### SUMMARY

According to research [3], activities such as falling, jogging, jumping, and clapping can produce relatively large maximum human acceleration values, while activities such as going up and down stairs, walking, and bending over can produce smaller maximum human acceleration values. Therefore, the sum of acceleration range can effectively distinguish falls from other normal behaviors.

1. Chen Lin. Research on Fall Detection Method for the Elderly Based on Accelerometer from A Smart Watch, 2020. DOI:10.27135/d.cnki.ghudu.2020.003169.
2. Luo Wenzhi;Zhang Zihao;Guilin Weiling.Design of fall monitoring system for elder people based on LoRa,2022,30(18):114-118. DOI:10.14022/j.issn1674-6236.2022.18.024.

# TRANSFORMER-BASED DENOISING METHOD FOR MEDICAL IMAGES

Zhao Di, Gourinovitch A.B.

Department of Information Technologies in Automated Systems,  
Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: 3189124246@qq.com, gurinovich@bsuir.by

*Biomedical image segmentation is essential for accurate disease diagnosis. However, issues like noise and artifacts in medical images can hinder effective diagnosis. This paper presents a Transformer-based method for medical image segmentation denoising, which uses self-attention to remove noise and retain image details, thus enhancing diagnostic accuracy.*

## INTRODUCTION

Medical imaging is a cornerstone in contemporary diagnostics, enabling radiologists to utilize non-invasive methods like magnetic resonance imaging (MRI), X-ray radiography, computed tomography (CT), and positron emission tomography (PET) to visualize internal tissues. These procedures are not only accessible but also designed to minimize patient discomfort and risk. Despite their benefits, the acquisition of medical images can introduce various forms of noise and streak artifacts, potentially obscuring diagnostic details. Consequently, the pursuit of effective medical image denoising and the enhancement of denoising precision are of paramount importance, holding significant value for both scientific inquiry and clinical practice.

### I. CHALLENGES AND PROBLEMS

Over the past decades, a plethora of medical image denoising algorithms has been developed, broadly classifying into traditional and deep learning-based approaches. Traditional methods exploit the pixel correlations within the original image block to estimate the gray values for noise reduction. While these traditional algorithms demonstrate effective denoising capabilities, they often require manual parameter tuning, leading to high computational complexity and are typically designed for single denoising tasks.

With the continuous improvement of network architecture, deep learning algorithms are gradually emerging, and more and more researchers and scholars apply them to the field of image denoising. Deep learning-based denoising algorithms are characterized by their precision in noise removal without embedding it into the image space. Convolutional neural network (CNN)-based denoising methods have emerged as a dominant trend in medical imaging, capable of preserving image details such as edges and texture structures through convolution operations, thereby effectively suppressing noise. Despite the superior performance of CNN-based methods in denoising, challenges remain[1]. The convolution kernels used during

training are often not tailored to the image content, that can result in the loss of image detail information. Additionally, the neglect of non-local correlations within the image can lead to a loss of global information when modeling long-term dependencies, highlighting the need for more sophisticated modeling techniques that can capture both local and global image features.

### II. DESCRIPTION OF EXISTING METHODS

Addressing the limitations and challenges prevalent in contemporary image denoising tasks, the article introduces a Transformer-based denoising algorithm. Initially introduced by Google in 2017 for natural language processing, the Transformer architecture diverges from the conventional Recurrent Neural Networks (RNNs) commonly employed in natural language processing(NLP). The common Transformer structure is shown in Figure 1, the Transformer consists of an encoder and a decoder, the encoder generates the input codes and the decoder receives all the codes from the encoder and utilizes them to integrate the contextual information to produce the output sequence. Each Transformer module consists of the following structures:

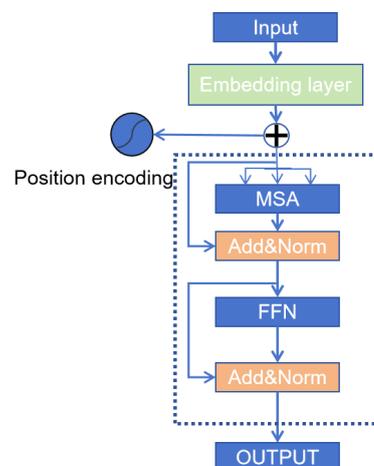


Рис. 1 – The structure of transformer

- Embedding layer : The medical image is segmented into small blocks (patches), each of which is considered as an element in the sequence. This step

is intended to reduce global dependencies and allow the model to focus on local features of the image, providing the basis for the denoising process. The embedding layer maps these localized image chunks into a high dimensional space to form embedding vectors. This process enhances the model's ability to capture local image features, providing rich information for the subsequent self-attention layer, which helps to recognize and remove noise.

- Self-Attention Layer : The self-attention mechanism is a core component of the Transformer architecture, the Self-Attention layer recognizes global patterns and noise distributions in an image by calculating the relationship between each image block and all other blocks in the sequence. This mechanism allows the model to take into account the contextual information of the entire image when processing each image block, thus effectively recognizing and removing noise while preserving important image features. The self-attention model uses the Query-Key-Value (QKV) model and the computation of the self-attention layer can be represented as:

$$\text{Attention}(Q,K,V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V \quad (1)$$

where  $Q$ ,  $K$ , and  $V$  are the query, key, and value matrices, respectively, and  $d_k$  is the dimension of the key vector.

- Multi-head self-attention : The multi-head self-attention mechanism further enhances the model's ability to capture features at different scales, and improves the denoising accuracy by processing information from multiple subspaces in parallel. This step allows the model to focus on both large-scale structures and small-scale details in the image, which helps to remove noise at different scales while recovering the detailed information of the image.

$$\text{MHA}(Q,K,V) = \text{Concat}(\text{head}_1, \dots, \text{head}_n)W^O \quad (2)$$

$$\text{head}_i = \text{Attention}(QW_i^Q, KW_i^K, VW_i^V) \quad (3)$$

where  $MHA$  is the Multihead,  $n$  indicates the number of head,  $W_i^Q$ ,  $W_i^K$ ,  $W_i^V$ , and  $W^O$  are learnable weight matrices.

- Positional coding : Positional coding provides the model with information about the spatial location of each image block, which is crucial for understanding the structure and context of the image. During the denoising process, positional coding ensures that the model is able to correctly reconstruct the spatial structure of the image, avoiding structural distortions caused by noise. Positional coding provides the model with spatial location information for each patch.

- Layer Normalization : Layer normalization accelerates model convergence and improves training stability by stabilizing the input distribution. During

the denoising process, layer normalization helps to reduce the internal covariate bias between different layers, which improves the robustness of the model to noise.

- Residual Connection : Residual connectivity transfers information from the previous layer to the subsequent layer through jump connections, which not only enriches the information transfer of the model, but also helps to reduce the problem of gradient vanishing in deep networks. During the denoising process, residual connections ensure that the original information of the image is preserved, while allowing the model to efficiently learn and adjust features in the deep network to remove noise.

- Feedforward Neural Network : The feedforward network is responsible for further processing the output of the self-attention layer to enhance the expressive power of the model through nonlinear transformations. This step helps the model to capture complex relationships in the image, especially in the presence of complex noise patterns, and the feed-forward network is able to adjust the features to better remove noise and recover image details.

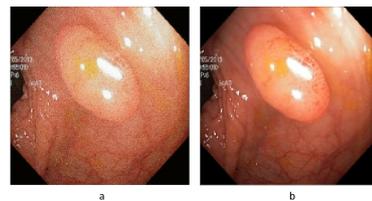


FIG. 2 – The comparison between the image before denoising (a) and the image after denoising (b)

As shown in Figure 2.a is the medical image before denoising and Figure 2.b is the image after denoising, the noisy image before denoising contains a large number of random noise points, which seriously affects the visual clarity of the image. In the denoised image, artifacts and distortions in the image are significantly reduced and important structural and textural features are preserved and enhanced. Through these steps, the Transformer model is able to effectively recover clear images from noisy images, providing a powerful tool in the field of medical image denoising.

### III. CONCLUSION

Transformer-based medical image denoising method effectively removes the noise from the image through the self-attention mechanism while retaining the important features of the image. Future research can further explore the application of Transformer-based model in the field of medical image denoising.

1. Ilesanmi, A. E., & Ilesanmi, T. O. (2021). Methods for image denoising using convolutional neural network: a review. *Complex & Intelligent Systems*, 7(5), 2179-2198.
2. Sagheer, S. V. M., & George, S. N. (2020). A review on medical image denoising algorithms. *Biomedical signal processing and control*, 61, 102036.

# PRINCIPLES AND APPLICATIONS OF FUZZY CLUSTERING ALGORITHMS

Zhang Hengrui, Yu.O. German, He Runhai  
Department of Information Technologies in Automated Systems,  
Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: 15058556211@163.com, jgerman@bsuir.by, fpm.he@bsu.by

*This paper takes the fuzzy C-mean (FCM) clustering algorithm as an example, introduces the basic principles and applications of fuzzy clustering, and compares it with the K-mean algorithm to analyze the similarities and differences between the two. Fuzzy clustering allows data points to belong to multiple clusters at the same time, is suitable for dealing with fuzzy and overlapping data, and has a wide range of practical applications.*

## INTRODUCTION

Clustering algorithms are an important unsupervised learning method in data analysis and are usually categorized into soft and hard clustering. Hard clustering algorithms (e.g., K-mean clustering) require that each data point belongs to only one specific cluster, while soft clustering algorithms allow data points to belong to multiple clusters at the same time, reflecting their uncertainty. Fuzzy clustering is especially suitable for dealing with fuzzy mathematical phenomena, for example, when describing “today’s weather is very hot”, it is difficult to give a precise temperature range, which is where fuzzy algorithms come into action.[1]

In this paper, we will take the Fuzzy C-means (FCM) clustering algorithm as an example to systematically introduce the basic principles of fuzzy clustering and its applications, and compare it with the K-means algorithm to analyze the similarities and differences between the two in processing data. Through this comparison, it aims to clarify the advantages of fuzzy clustering in practical applications, especially how to reflect the complexity of data more effectively when dealing with data with overlapping and fuzzy boundaries.

### I. FUZZY C-MEANS CLUSTERING ALGORITHM

Fuzzy C-means (FCM) clustering algorithm is a soft clustering method widely used in the field of data mining and pattern recognition. Its main goal is to classify a given dataset into  $c$  fuzzy clusters which optimize the distance between data points and cluster centers by minimizing an objective function. The algorithm uses an iterative approach to continuously update the cluster centers and the affiliation of the data points until convergence.

The steps of the FCM algorithm are as follows[2]:

Step1. Initialize the clustering center: Random selection  $c$  data points as initial clustering centers. This selection has a significant impact on the final clustering results, so different initialization strategies can be used to improve stability.

Step2. Calculate the affiliation matrix  $U$ :The affiliation matrix  $U$  is an  $n * c$  matrix, where  $n$  is

the number of data points and  $c$  is the number of clusters. Randomly assign affiliation values to each data point such that the sum of the affiliations of each data point to all clusters is 1. The affiliation degree is calculated as:

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left( \frac{\|x_i - V_j\|}{\|x_i - V_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (1)$$

Where  $u_{ij}$  means the affiliation of the data point  $x_i$  in the clustering  $V_j$  and  $m$  is a parameter to control the degree of fuzzy.

Step3. Updating Cluster Centers: Calculate the new clustering center based on the values of the affiliation matrix and the data points, The new clustering center is calculated as:

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m} \quad (2)$$

Step4. Iteration: Repeat steps 2 and 3 until the transformation of the affiliation or cluster center is less than a preset threshold value. The objective function for the convergence of the affiliation matrix is the minimization objective function  $J$ , which takes the following form:

$$J = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c u_{ij}^m \cdot d_{ij}^2 \quad (3)$$

Where  $d_{ij}$  means the distance between the data point  $x_i$  and the clustering center  $V_j$ .

### II. COMPARISON WITH K-MEANS ALGORITHM

In K-means, which is usually applied when the data are clearly separated, the results are simpler and clearer. While Fuzzy C-means is suitable for dealing with fuzzy and overlapping data, and can better reflect the diversity and complexity of the data.[3]

In Figure 1 are shown the results obtained after using K-means and Fuzzy C-means clustering algorithms separately for the same dataset.

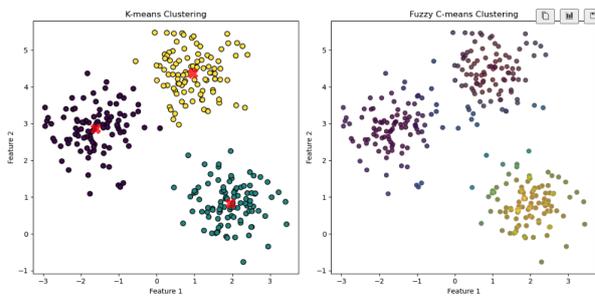


Рис. 1 – Comparison with K-means

This can be clearly seen through the resultant graph: the clustering centers of the K-means, while the Fuzzy C-means shows the affiliation of the data points in different colors.

Fuzzy C-means allows data points to belong to multiple clusters, which is particularly effective for dealing with overlapping or ambiguous data. Visually, it can be seen that the distribution of data points may not be clear and there is a lot of overlap. Its clustering results may be more realistic, especially when the data is not completely separated, and Fuzzy C-means is better at capturing the fuzzy boundaries of the data points.[4]

### III. APPLICATION OF FUZZY CLUSTERING ALGORITHM

Fuzzy Clustering has a wide range of real-world applications in several fields. This section will describe some of the major application scenarios of Fuzzy Clustering.

1. Detection of crime hot spots: Using algorithms such as Fuzzy C-means, crime events can be clustered into specific areas to identify crime hot spots. These hot spots are likely to be areas with high crime rates, helping law enforcement allocate resources more efficiently.[5]

2. Medical Image Processing: In medical image processing, it can be used to segment tumor tissue from healthy tissue.[6]

3. Risk assessment in the financial sector: In the field of finance, fuzzy clustering can help predict and assess the risk of financial markets such as stocks.[7]

4. Text Topic Recognition: In Natural Language Processing (NLP), fuzzy clustering is able to deal with the ambiguity of textual data and identify the topic of an article or document.[8]

In summary, the versatility of fuzzy clustering makes it a valuable tool across various domains, enabling more effective decision-making and resource management in complex and uncertain environments.

#### SUMMARY

Fuzzy clustering is an advanced cluster analysis method designed to effectively deal with ambiguity and uncertainty in data. Unlike

traditional hard clustering methods, fuzzy clustering allows data points to belong to multiple clusters simultaneously with different degrees of affiliation. This property allows fuzzy clustering to more accurately reflect the complexity of data in the real world, especially when dealing with fuzzy or overlapping boundaries, providing more detailed and rich clustering information. Therefore, fuzzy clustering has been widely used in several fields, such as image processing, medical diagnosis and market analysis.

In addition, fuzzy clustering not only plays an important role in data analysis, but also provides a powerful tool for decision support. By analyzing historical data with fuzzy clustering, decision makers are able to identify potential risks and key issues, and thus develop more effective strategies. For example, in the financial sector, fuzzy clustering can be used for customer risk assessment to help financial institutions optimize resource allocation and risk control. In terms of visualization, fuzzy clustering results can be presented through various graphical tools, which enhances the intuition and comprehensibility of data analysis, and at the same time provides an important basis for the prediction of future trends. Therefore, fuzzy clustering shows its unique value and advantages in processing complex data and supporting decision-making.

1. Kruse, R., Döring, C., and Lesot, M. J. (2007). Fundamentals of fuzzy clustering. *Advances in fuzzy clustering and its applications*, 3-30.
2. Li, J., and Lewis, H. W. (2016, November). Fuzzy clustering algorithms—review of the applications. In *2016 IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud)* (pp. 282-288). IEEE.
3. Dubey, A. K., Gupta, U., and Jain, S. (2018). Comparative study of K-means and fuzzy C-means algorithms on the breast cancer data. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(1), 18-29.
4. Velmurugan, T., and Santhanam, T. (2010). Performance evaluation of k-means and fuzzy c-means clustering algorithms for statistical distributions of input data points. *European Journal of Scientific Research*, 46(3), 320-330.
5. Grubestic, T. H. (2006). On the application of fuzzy clustering for crime hot spot detection. *Journal of Quantitative Criminology*, 22, 77-105.
6. Ren, T., Wang, H., Feng, H., Xu, C., Liu, G., and Ding, P. (2019). Study on the improved fuzzy clustering algorithm and its application in brain image segmentation. *Applied Soft Computing*, 81, 105503.
7. Mo, H., Niu, Y., and Zhang, Y. (2015). Application of parallel clustering algorithms for big data in the division of stock. *Big Data Research*, 1(4), 9-17.
8. Anam, S. A., Rahman, A. M., Saleheen, N. N., and Arif, H. (2018, June). Automatic text summarization using fuzzy c-means clustering. In *2018 Joint 7th International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV) and 2018 2nd International Conference on Imaging, Vision & Pattern Recognition (icIVPR)* (pp. 180-184). IEEE.

# ALGORITHM OF THE MULTILAYER ARTIFICIAL FEED-FORWARD NEURAL NETWORK LEARNING

Mukha V. S.

Department of Information Technologies of Automated Systems,  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mukha@bsuir.by

*The algorithm of the multilayer feed-forward neural network learning is developed. The algorithm is realized the error back-propagation idea. The particularity of the algorithm is its multidimensional-matrix form, which provides its theoretical and algorithmic generality. The program realization of the algorithm is performed as the function of the Matlab programming language. In spite of the multidimensional-matrix form of the algorithm, this function is defined fully by the usual matrices. The validity of the algorithm is confirmed by the computer simulation on the instances of the different approximation problems including the problem of the pattern recognition.*

## INTRODUCTION

Nowadays, neural networks increasingly being used to solve various problems instead of traditional mathematical methods. The certain euphoria is observed in the popular literature especially in the student environment about the advantages of the artificial neural networks compared with the traditional methods (see, for example, [1]). It is explained by the apparent simplicity of use of the artificial neural network: let us choose the features, collect the learning sample and the artificial neural network will achieve everything else. On the other hand, there is the works in which the real comparative analysis of the classical methods and the artificial neural networks is performed for solving of the specific problems [2–5]. The main difficulty on this path is the developing of the learning algorithm of the artificial neural network. Therefore, ready-made software products which contain the learning algorithms of the artificial neural networks are usually used. However, it is advisable to have the clear and easy for the programming algorithms of the artificial neural networks learning for the expanding of the arsenal of the typical solutions in the field of the artificial neural networks.

The most popular method for the artificial neural networks learning is the so called error back-propagation method [6, 7]. There are numerous other descriptions of this method, but all of them are not brought to strict algorithm suitable for the error-free programming. In this paper, the solution of this problem is given. The developing algorithm bases on the idea of the error back-propagation method but this terminology is not used since the algorithm does not contain any error propagation in the literal sense. In the author understanding, it is the gradient method for finding the minimum of the loss function with specific but the natural way to calculate the gradient for this task.

## I. MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE

## MULTILAYER ARTIFICIAL FEED-FORWARD NEURAL NETWORK

The separate layer of the artificial neural network has the form represented in figure 1.

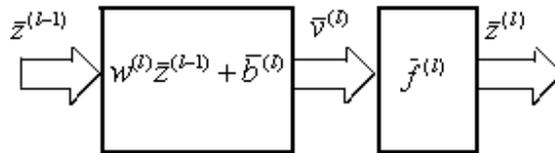


Рис. 1 – The separate layer of the artificial neural network

In figure 1,  $\bar{z}^{(l-1)} = (z_1^{(l-1)}, z_2^{(l-1)}, \dots, z_{s_{l-1}}^{(l-1)})$  is the input vector of the  $l$ -th layer,  $\bar{v}^{(l)} = (v_1^{(l)}, v_2^{(l)}, \dots, v_{s_l}^{(l)})$  is the output vector of the affine transformation of the  $l$ -th layer,  $\bar{z}^{(l)} = (z_1^{(l)}, z_2^{(l)}, \dots, z_{s_l}^{(l)})$  is the output vector of the activation function  $\bar{f}^{(l)}$  of the  $l$ -th layer,  $w^{(l)} = (w_{i,j}^{(l)})$ ,  $i = 1, 2, \dots, s_l$ ,  $j = 1, 2, \dots, s_{l-1}$ , is the  $(s_l \times s_{l-1})$ -matrix of the weight coefficients of the linear transformation of the  $l$ -th layer,  $\bar{b}^{(l)} = (b_1^{(l)}, b_2^{(l)}, \dots, b_{s_l}^{(l)})$  is the bias vector of the  $l$ -th layer.

Such a layer is described mathematically by the following expression:

$$\bar{z}^{(l)} = \bar{f}^{(l)}(w^{(l)}z^{(l-1)} + \bar{b}^{(l)}),$$

where  $\bar{f}^{(l)} = (f_1^{(l)}, f_2^{(l)}, \dots, f_{s_l}^{(l)})$  is the vector function maps the vector  $\bar{v}^{(l)} = w^{(l)}z^{(l-1)} + \bar{b}^{(l)}$  to the vector  $\bar{z}^{(l)}$ . This function represents the set of the independent scalar functions of the scalar variables, i.e.  $z_i^{(l)} = f_i^{(l)}(v_i^{(l)})$ ,  $i = 1, 2, \dots, s_l$ .

The multilayer artificial feed-forward neural network is the consecutive connection of the separate layers. The number of the layers of the multilayer artificial neural network we will denote  $L$ , and the variable  $l$  in the previous expressions take the values  $l = 1, 2, \dots, L$ . The general recurrent expression describing the artificial neural network with the arbitrary number of the layers  $L$  has the following form:

$$\bar{z}^{(l)} = \bar{f}^{(l)}(\bar{v}^{(l)}) = \bar{f}^{(l)}(w^{(l)}\bar{z}^{(l-1)} + b^{(l)}), l = 1, 2, \dots, L,$$

where  $\bar{z}^{(0)} = \bar{x}$ .

## II. LEARNING OF THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

The learning of the artificial neural network consists of the selection of the weight matrices  $w^{(1)}, w^{(2)}, \dots, w^{(L)}$  and the bias vectors  $\bar{b}^{(1)}, \bar{b}^{(2)}, \dots, \bar{b}^{(L)}$  providing the best performance by the neural network of its functions. The learning set (the learning sample) contains the learning pairs  $(\bar{x}_k, \bar{y}_k)$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , where  $\bar{x}_k = (x_{k,1}, x_{k,2}, \dots, x_{k,s_0})$  is the input vector of the artificial neural network and  $\bar{y}_k = (y_{k,1}, y_{k,2}, \dots, y_{k,s_L})$  is the required output vector (the target vector) of the artificial neural network corresponding to the input vector  $\bar{x}_k$ ,  $n$  is the size of the learning sample. For instance, The vector  $\bar{x}_k = (x_{k,1}, x_{k,2}, \dots, x_{k,s_0})$  is the vector of the features of the pattern in the patterns recognition problem. The loss function  $C$  is introduced for the neural network learning which depends in general case from the set  $\bar{y} = (\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_n)$  of the target vectors  $\bar{y}_k$  and the set  $\bar{z}^{(L)} = (\bar{z}_1^{(L)}, \bar{z}_2^{(L)}, \dots, \bar{z}_n^{(L)})$  of the output vectors  $\bar{z}_k^{(L)}$  of the neural network:  $C = C(\bar{y}, \bar{z}^{(L)})$ . For instance, it is possible to use the quadratic loss function:

$$C = \sum_{k=1}^n 0,1(\bar{z}_k^{(L)} - \bar{y}_k)^2, \quad (1)$$

where  $0,1(\bar{z}_k^{(L)} - \bar{y}_k)^2$  means the (0,1)-rolled square of the vector  $\bar{z}_k^{(L)} - \bar{y}_k$ .

The proposing neural network learning algorithm supposes the calculation of the derivatives of the loss function on the vector and matrix arguments. Since such a differentiation and the differentiation of the superposition are not defined in classical vector-matrix mathematical approach we use the multidimensional-matrix differentiation theory [8].

## III. COMPUTER MODELLING

The learning algorithm of the multilayer artificial feed-forward neural network was developed on the base of the results above and do not present here. The developed algorithm is realised programmatically in the programm system Matlab as the single m-file-function. The quadratic loss function, linear activation function for the last layer and logistic activation function for all other layers apart the first were choose. The algorithm for three-layers neural network was checked in the tasks of the approximation of the three degree scalar polynomial of two variables and the discriminant function for the gaussian patterns recognition with two features. The following parameters of the neural network are used:

$s_0 = s_1 = \dots = s = 2, s_3 = 1$ . The algorithm has shown its efficiency on these tasks. However, it was not possible to obtain the satisfactory approximation of the polynomial by the neural network. At the same time, the problems typical for any search system have been identified. They are the difficulty of choosing of the search step size, of the initial values of the parameters, low convergence speed of the learning algorithm and the specific for the artificial neural networks problems with choosing the number of the layers, sizes of layers, activation functions [9].

## IV. CONCLUSION

The main result of this work is the algorithm of the multilayer feed-forward neural network learning. The algorithm was realized programmatically in the Matlab language as the single function. This program software confirmed its efficiency on the task of the approximation of the polynomial of many variables and discriminant functions in patterns recognition. It is suitable for the deep learning of neural networks with an arbitrary number of layers of arbitrary size [9, 10]. The disadvantages were exposed such as in traditional search algorithms and specific advantages of the neural networks.

## V. REFERENCES

1. Golovinov A.O. Advantages of neural networks over traditional algorithms / A.O. Golovinov, E.N. Klimova // Experimental and theoretical research in modern science / Coll. of art. based on the materials of the 5th intern. sc.-pract. conf. No 5 (5). – Novosibirsk: «СибАК», 2017. – Pp. 11–15. In russian.
2. C. A. Mitrea, C. K. M. Lee and Z. Wu. A Comparison between Neural Networks and Traditional Forecasting Methods. A Case Study // International Journal of Engineering Business Management. 2009, Vol. 1, No. 2, pp. 19–24.
3. Jock A. Blackard 1, Denis J. Dean. Comparative accuracies of artificial neural networks and discriminant analysis in predicting forest cover types from cartographic variables // Computers and Electronics in Agriculture, 24 (1999), pp. 131–151.
4. Eze, Chinonso Michael, Ugwuowo, Ifeanyi Fidelis, Asogwa, Oluchukwu. A comparative analysis of vector autoregressive model and neural networks // EPH – International Journal of Mathematics and Statistics. 2018, Vol. 4, Issue 8, pp. 1–13.
5. Fahima Charef, Fethi Ayachi. A Comparison between Neural Networks and GARCH Models in Exchange Rate Forecasting // International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences. Vol. 6, No.1, January 2016, pp. 94–99.
6. Rumelhart D., Hinton G., Williams R. Learning internal representations by errors propagation // Parallel distributed processing. – Cambridge, 1986, pp. 318–362.
7. Christopher M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer Science+Business Media, LLC, 2006. 738 p.
8. Mukha V.S. Analysis of multidimensional data. – Minsk.: Technprint, 2004. – 368 p. In russian
9. Golovko V.A. Neural network: learning, organization and application: tutorial. – M.: IPRJP, 2001. – 256 p. In russian.
10. Schmidhuber, J. Deep Learning in Neural Networks: An Overview. Neural Networks. (2015). 61: 85–117.

# A HYBRID AGENT-CENTRIC AND SCENE-CENTRIC APPROACH FOR MULTI-AGENT TRAJECTORY PREDICTION

Tang Yi, German O.V.

Department of Information Technologies in Automated Systems,  
Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics  
Minsk, Republic of Belarus

E-mail: tangyijcb@163.com, ovgerman@tut.by

*Accurately predicting the future trajectories of agents in autonomous driving is crucial for safe navigation and decision-making. Traditional trajectory prediction models have limitations when dealing with complex multi-agent interactions. In this paper, we propose a hybrid approach that leverages the strengths of both agent-centric and scene-centric models by using agent-centric normalization for dynamic agents and a scene-centric framework for static map elements.*

## INTRODUCTION

The task of trajectory prediction is fundamental to the safe operation of autonomous vehicles (AVs). AVs must accurately predict the future positions of surrounding dynamic agents, such as vehicles and pedestrians, while also understanding the static context, such as road boundaries and traffic signals. Traditional approaches can be broadly categorized as instance-centric or agent-centric.

Agent-centric models normalize the world around each agent individually. The advantage of this method is that it simplifies the prediction problem for each agent by reducing relative motion and viewpoint complexity. However, this approach can introduce computational overhead, as each agent requires a separate normalization process.

In contrast, scene-centric models operate in a global reference frame. All agents and static elements (such as lanes and traffic signs) are modeled together in the same coordinate system. This reduces computational complexity but can lead to inaccuracies when dealing with interactions, especially when agents are moving in different directions or at varying speeds[1].

In this paper, we propose a hybrid agent-centric and scene-centric approach to overcome these limitations. By combining the strengths of both paradigms, our method enables accurate trajectory prediction in complex multi-agent environments while maintaining computational efficiency.

## I. PROBLEM STATEMENT

The task of multi-agent trajectory prediction involves predicting the future positions of each agent based on their past trajectories and environmental context. Mathematically, let  $X^i = \{\mathbf{x}_t^i\}_{t=1}^T$  represent the observed trajectory of agent  $i$ , where  $\{\mathbf{x}_t^i\}$  denotes the position of agent  $i$  at time  $t$ . The goal is to predict the future trajectory  $\hat{X}^i = \{\hat{\mathbf{x}}_t^i\}_{t=T+1}^{T+H}$ , where  $H$  represents the prediction horizon.

In existing approaches, agent-centric models apply normalization for each agent, which involves recalculating the positions of surrounding agents

and static elements relative to the target agent. This often leads to redundant computations, especially when dealing with multiple agents. Scene-centric models, while computationally efficient, struggle with relative viewpoint shifts among agents, leading to lower prediction accuracy in complex multi-agent scenarios.

## II. DESCRIPTION OF EXISTING METHODS

Agent-centric methods normalize the environment by transforming the past and surrounding trajectories of all agents relative to a specific target agent. In this approach, each agent's motion is analyzed in a local coordinate system that is centered on the agent itself. This allows for precise modeling of the agent's behavior and movement patterns, as its trajectory is examined relative to its own motion. The transformation into a local frame helps to eliminate the effects of external global references, making the analysis more focused on the agent's perspective[2]. However, while agent-centric methods can ensure a highly accurate understanding of each individual agent's motion, they come with a significant computational cost. For each agent, the system must continuously recalculate the positions of all other agents and static elements relative to the target agent. This process, while effective for a single or a small number of agents, becomes computationally expensive as the number of agents increases, leading to inefficient scaling in multi-agent scenarios. In complex environments with many interacting agents, the need to independently transform and normalize the trajectories for each agent can quickly overwhelm the system, limiting its scalability and overall efficiency.

On the other hand, the scene-centric approach models all agents and static elements within a global reference frame without recalibrating each agent. This approach is computationally efficient because it avoids repeating the normalization process for each agent's local environment. While this approach simplifies the modeling process and reduces the computational burden, there are trade-offs in terms of accuracy, especially when dealing

with multi-agent interactions. Scene-centered models can be difficult to dynamically adjust to each agent’s unique perspective, including differences in viewpoint, direction of motion, and velocity. This lack of flexibility can lead to reduced accuracy when predicting interactions between agents, as the global framework may not be able to accurately capture the relative motion between agents. In addition, the scene-centric approach has a significant drawback in the form of weak generalization of the global scene. Such models are prone to overfitting static elements in a particular scene and the global environment during training. When the scene in the training data changes, the prediction accuracy of the model decreases significantly. For example, subtle changes in lane layouts, traffic signs, or road structures may lead to inaccurate predictions of a scene-centered model in a new scene because it lacks adaptability to changes in the scene[3].

### III. METHOD DESCRIPTION

To address the limitations of existing approaches, we propose a hybrid agent-centric and scene-centric approach for multi-agent trajectory prediction. This method uses instance-centric normalization for dynamic agents and scene-centric representation for static elements like roadways, lane segments, and traffic signs.

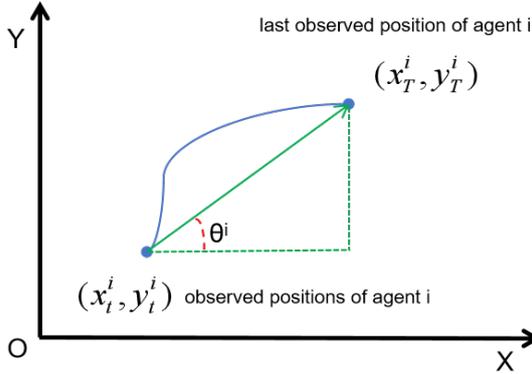


Рис. 1 – Displacement vector and heading angle

For each dynamic agent  $i$ , we transform the trajectory into a local reference frame based on the agent’s last position and heading. Figure 1 shows the displacement vector and heading angle. The trajectory transformation is as follows:

$$\tilde{\mathbf{x}}_t^i = R^i(\mathbf{x}_t^i - \mathbf{x}_T^i) \quad (1)$$

where  $\mathbf{x}_T^i$  is the agent’s current position at time  $T$ , and  $R^i$  denotes the rotation matrix that aligns the agent’s heading direction with the x-axis:

$$R^i = \begin{bmatrix} \cos(\theta^i) & -\sin(\theta^i) \\ \sin(\theta^i) & \cos(\theta^i) \end{bmatrix} \quad (2)$$

where  $\theta^i = \arctan(\mathbf{x}_t^i - \mathbf{x}_T^i)$  being the agent’s heading angle derived from its past trajectory. This instance-centric normalization ensures that the agent’s future trajectory prediction is robust to

variations in heading direction, allowing the model to focus on predicting future movement patterns relative to the agent’s current motion.

Static elements such as lane lines, road boundaries, traffic signs and traffic signals are kept represented in a global coordinate system without depending on specific dynamic intelligences. These static elements are characterized by a fixed position that does not change over time, so keeping them in the global reference system avoids the repetitive computation of coordinate transformations for different intelligences each time. Road geometries such as lane lines are described by multiple sampling points and represented under the global coordinate system, which provides consistent reference information for all intelligences[4]. For example, a lane segment  $j$  can be represented by its centroid  $C_j$  and orientation  $\theta_j$ , which is derived from the displacement vector between its endpoints:

$$\theta_j = \arctan 2(y_2^j - y_1^j, x_2^j - x_1^j) \quad (3)$$

This approach eliminates redundant calculations by keeping static elements in a global frame, while dynamic agents are modeled in their local reference frames. Especially in multi-intelligent body scenarios, the trajectory prediction of dynamic intelligences can be directly based on the interaction of these global static elements, which improves the computational efficiency, especially in complex scenarios containing a large number of static elements.

### IV. CONCLUSION

We proposed a novel hybrid approach that combines the strengths of agent-centric and scene-centric trajectory prediction methods. By applying instance-centric normalization for dynamic agents and maintaining scene-centric representation for static elements, our method achieves both high prediction accuracy and computational efficiency. This hybrid approach is particularly effective in complex, multi-agent environments, where both dynamic and static elements play a crucial role in trajectory prediction. Future work will explore integrating more sophisticated interaction modeling between agents and extending the method to larger-scale real-world scenarios.

1. Liang, M., Yang, B., Hu, R., & Urtasun, R. (2020). Learning Lane Graph Representations for Motion Forecasting. Arxiv preprint arXiv:2007.13732.
2. Zhang, L., Li, P., Liu, S., & Shen, S. (2024). SIMPL: A Simple and Efficient Multi-Agent Motion Prediction Baseline for Autonomous Driving. Arxiv preprint arXiv:2402.02519.
3. Bharilya, V., & Kumar, N. (2023). Machine Learning for Autonomous Vehicle’s Trajectory Prediction: A Comprehensive Survey. Arxiv preprint arXiv:2307.07527.
4. Huang, Y., Du, J., Yang, Z., Zhou, Z., & Chen, H. (2022). A Survey on Trajectory-Prediction Methods for Autonomous Driving. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 7(3), 652-667.



Секция «Технологии цифровой  
экономики»

Section «Digital Economy Technologies»



# К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НЕОБХОДИМОСТИ ПРОДВИЖЕНИЯ ИТ-КОМПАНИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Батура М. П., Марахина И. В., Пархименко В. А.  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: marahina@bsuir.by

*В статье представлен анализ возможностей и перспектив продвижения ИТ-компаний в социальных сетях, приводятся рекомендации и выделяются проблемы в области SMM для таких компаний.*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее значение в цифровой экономике приобретают социальные сети и их использование как инструмента продвижения организаций.

Для организаций, общностей, других юридических лиц социальные сети выступают как инструмент связи с рынком и аудитории, канал продаж и продвижения. При этом важный плюс – это возможность доступа к большей части жителей Земли с учетом таргетинга – то есть возможности наиболее точно выбрать целевую аудиторию на основе сегментирования по множеству параметров. Так, согласно последним данным, общее число пользователей социальных сетей в мире составляет 5,17 миллиарда [1]. Анализ показывает, что в среднем пользователи социальных сетей теперь тратят на них 2 часа 23 минуты в день [2].

## I. ПРОДВИЖЕНИЕ ИТ-КОМПАНИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Социальные сети позволяют эффективно работать на территории пользователя и формировать требуемый образ компании. При правильном подходе они позволяют быстро и дешево достигать поставленные цели. Если бренд хочет встречаться со своими клиентами там, где они проводят свое время, то социальные сети – первые в списке. Истории («сториз») – это способ взаимодействия с этими клиентами, а не просто публикация фотографий или коротких текстовых сообщений. Они должны рассказывать какую-то историю (отсюда и слово «истории»), и должны хорошо выглядеть – бренд должен тратить время на производство, чтобы сделать историю достойной просмотра и взаимодействия [3].

Следует отметить, что продвижение в социальных сетях актуально для компаний ИТ-сектора, что связано с их работой на глобальных рынках, необходимостью формирования инновационного и прогрессивного, высокотехнологичного имиджа. На практике, однако, многие ИТ-компании недооценивают эффективность социальных сетей для достижения своих целей. Как правило, они ожидают от них очень быстрых результатов в форме новых клиентов и продаж

своих ИТ-продуктов и сервисов, т.е. трактуют эффективность маркетинга в социальных медиа (SMM) сугубо в коммерческих терминах («продажи»). А в случае, когда от SMM ждут более реалистичных успехов (формирование имиджа экспертов в том или ином домене, поддержание репутации и постоянное нахождение в информационном поле, более широкий охват различных аудиторий, в том числе и потенциальных работников), – в этом случае зачастую ИТ-компании не понимают, как целенаправленно, системно и последовательно организовывать такую работу.

## II. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ИТ-КОМПАНИЙ

В существующих академических исследованиях недостаточно внимания уделяется разработке рекомендаций для ИТ-компаний при работе в социальных сетях. Это создает определённые пробелы в понимании того, как можно оптимизировать процессы взаимодействия с пользователями и повысить эффективность маркетинга через социальные платформы.

Рассмотрим некоторые популярные рекомендации по работе ИТ-компаний в социальных сетях, приводимые в научных и практических источниках:

1. Позиционирование ИТ-компаний должно быть направлено на формирование образа, обладающего следующими ключевыми характеристиками: экспертность, знание и способность решить проблемы заказчика, надежность. При этом сообщения в социальной сети должны быть увлекательными, простыми и понятными, включать живое общение, советы экспертов и решение проблем целевой аудитории. Немаловажным является использование SEO-продвижение текстов.
2. Для ИТ-рынка рекомендуемые для SMM-продвижения являются сети Facebook, Twitter, LinkedIn и Instagram [4]. Для работы с российскими заказчиками также рекомендуют группу ВКонтакте [5].
3. Следует обратить внимание на правильное определение целевой аудитории и ее интересов, в первую очередь лиц, принимающих решение о покупке продукции ИТ-компаний.

4. Особое внимание следует уделить таргетированной рекламе, при точечной настройке показов с учетом целевой аудитории ИТ-компаний.

Анализ подобных рекомендаций показывает, что представленные разработки носят достаточно общий характер, и не учитывают многообразие форм ИТ-компаний, определяющее и специфику их работы в социальных сетях. Кроме того, чаще всего практические кейсы, которые демонстрируют успешные стратегии, но не предлагают четких методологических рекомендаций для их применения в других контекстах. Это отсутствие систематизированных подходов затрудняет работу SMM-специалистов ИТ-компаний, так как они часто сталкиваются с необходимостью адаптации имеющегося опыта к уникальным требованиям своих организаций, что в свою очередь может происходить методом проб и ошибок и нести в себе репутационные и финансовые риски.

### III. ПРОБЛЕМЫ ПРОДВИЖЕНИЯ ИТ-КОМПАНИЙ

Также следует обратить внимание на некоторые проблемы продвижения ИТ-компаний в социальных сетях, на которые указывают эксперты [6].

1. Постоянные финансовые вложения и рост стоимости SMM, вызванный изменением алгоритмов и политики социальных сетей, конкуренцией, трендами и необходимостью постоянных публикаций и поддержки общения с потенциальными клиентами.
2. Нестабильность социальных медиа. ИТ-компаниям вынуждены учитывать нестабильный статус медиа-площадок, что вызвано нововведениями или сменой вектора развития социальной сети, изменением алгоритмов, появлением новых инструментов и даже геополитическими факторами.
3. Безопасность. ИТ-компании имеют особенно высокие репутационные риски из-за взлома аккаунта и доступа к имеющейся информации.
4. Соответствие результата SMM-кампании задачам ИТ-компаний. Стандартные подходы к оценке SMM-компаний, выраженный в подписчиках и лайках зачастую не коррелирует с истинной задачей ИТ-компаний. При этом, например, реальная конверсия аудитории в клиентов может быть слишком мала.
5. Невысокий уровень влияния социальных сетей на решения потенциальных клиентов. Так, например, в исследовании респонденты указали социальные сети только на 7

месте среди факторов, оказывающих значительное влияние на корпоративные ИТ [7].

В тоже время следует отметить, что отказ для ИТ-компаний от социальных сетей несет еще большие риски, связанные с конкуренцией, доступом к потенциальным клиентам и партнерам, имиджевыми потерями.

### Выводы

Подводя итоги, следует отметить, что сейчас страницы в социальных медиа просто не могут не рассматриваться как необходимый атрибут маркетинга ИТ-компаний. Научная и практическая проблема заключается в максимизации эффективности работы с социальными сетями, позволяющей ее перевести из необходимых издержек, в положительный фактор роста компании, который согласовывается с метриками ИТ-компаний.

Решением в такой ситуации видится активная работа ИТ-компаний в социальных сетях, на основе научно-обоснованного механизма, учитывающее разнообразие форм деятельности ИТ-компаний и их клиентов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Digital 2024 july global statshot report [Electronic resource] / Datareportal. – Mode of access: <https://datareportal.com/reports/digital-2024-july-global-statshot/>. – Date of access: 01.10.2024.
2. Kemp, S. No, social media is still not dying in 2024 / S. Kemp [Electronic resource] / Datareportal. – Mode of access: <https://datareportal.com/reports/digital-2024-deep-dive-social-media-is-still-growing>. – Date of access: 01.10.2024.
3. Zinck, B. Should your B2B brand create social media stories? /B. Zinck [Electronic resource] / Diginomica. – Mode of access: <https://diginomica.com/should-your-b2b-brand-create-social-media-stories>. – Date of access: 01.10.2024.
4. Продвижение ИТ-стартапа через социальные сети: насколько это эффективно? [Электронный ресурс] / Simple Solutions. – Режим доступа: <https://simple.solutions/press/prodvizhenie-it-startapa-cherez-socialnie-seti-naskolko-eto-effektivno>. – Дата доступа: 02.10.2024.
5. Панаско, Н. Продвижение ИТ компании в ВК / Н. Панаско [Электронный ресурс] / Vkusnovk. – Режим доступа: <https://vkusnovk.ru/blog/vedenie-vk/prodvizhenie-it-kompanii-v-vk>. – Дата доступа: 02.10.2024.
6. В ИТ есть кое-что покруче: так ли нужны социальные сети для продвижения бизнеса? [Электронный ресурс] / Дзен. – Режим доступа: <https://dzen.ru/>. – Дата доступа: 02.10.2024.
7. Howlett, D. Using social networking for B2B? Not so fast – virtualization matters way more to IT buyers / D. Howlett [Electronic resource] / Diginomica. – Mode of access: <https://diginomica.com/using-social-networking-b2b-not-so-fast-virtualization-matters-way-more-it-buyers>. – Date of access: 01.10.2024.

# АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НА ВОСПРИЯТИЕ БРЕНДА

Волкова Я. О.

Кафедра экономической информатики,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: yanochka.volkova.2002@gmail.com

*В условиях стремительного развития цифровых технологий и их интеграции в бизнес-процессы, цифровая трансформация становится ключевым фактором, влияющим на восприятие бренда. Данная статья посвящена исследованию влияния цифровой трансформации на восприятие бренда, с акцентом на когнитивные и эмоциональные реакции пользователей при взаимодействии с брендом через цифровые каналы. Результаты исследования показывают, что успешная цифровая трансформация способствует усилению положительного восприятия бренда, повышению лояльности и удовлетворенности клиентов. Статья предлагает рекомендации по оптимизации цифровых стратегий для улучшения восприятия бренда и укрепления его позиций на рынке.*

## ВВЕДЕНИЕ

С развитием технологий и изменением потребительских предпочтений, бренды сталкиваются с необходимостью адаптации к новым условиям, где цифровые каналы играют ключевую роль в коммуникации с клиентами. Взаимодействие с брендом через цифровые платформы оказывает значительное влияние на восприятие бренда, формируя как когнитивные, так и эмоциональные реакции пользователей. Особое внимание уделяется анализу пользовательского опыта, качеству предоставляемого контента и уровню персонализации, которые являются важными компонентами успешной цифровой стратегии. Понимание этих аспектов позволит компаниям более эффективно выстраивать цифровые коммуникации и укреплять лояльность клиентов.

В условиях высокой конкуренции и быстро меняющихся рыночных условий, бренды, способные адаптироваться к цифровым изменениям и удовлетворять ожидания своих клиентов, получают значительное преимущество. Однако недостатки в реализации цифровых стратегий могут привести к негативным последствиям, включая снижение доверия и лояльности клиентов. В этой статье будут предложены рекомендации по оптимизации цифровых стратегий, направленных на улучшение восприятия бренда и укрепление его позиций на рынке.

### I. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОДХОД

С учетом быстрого прогресса цифровых технологий и их внедрения в бизнес-процессы понимание концептуальных основ цифровой трансформации, ее влияния на восприятие бренда становится критически важным. Цифровая трансформация представляет собой комплексное изменение бизнес-процессов, моделей и стратегий, обусловленное внедрением цифровых технологий. Она охватывает такие аспекты, как автоматиза-

ция процессов, использование больших данных, внедрение искусственного интеллекта и развитие цифровых каналов коммуникации. В контексте бизнеса цифровая трансформация позволяет компаниям более эффективно взаимодействовать с клиентами, предоставляя персонализированный опыт и улучшая качество обслуживания.

Восприятие бренда определяется как совокупность впечатлений, ассоциаций и эмоций, которые возникают у потребителей при взаимодействии с брендом. В цифровую эпоху это восприятие формируется не только через традиционные каналы, но и через цифровые платформы, такие как социальные сети, мобильные приложения и веб-сайты. Ключевыми факторами, влияющими на восприятие бренда, являются качество содержания системы, уровень персонализации и обций пользовательский опыт.

Для достижения целей исследования рекомендуется использовать смешанную методологию, включающую как количественные, так и качественные методы. Количественный анализ может быть проведен с использованием опросов и анкетирования, направленных на выявление когнитивных и эмоциональных реакций пользователей на взаимодействие с брендом. Качественный анализ предполагает проведение фокус-групп и глубинных интервью, что позволит получить более глубокое понимание пользовательских ожиданий и восприятия. Для оценки успешности цифровых стратегий может быть разработан набор критериев, включающих уровень удовлетворенности клиентов, степень лояльности к бренду и частоту взаимодействия с цифровыми каналами. Эти показатели помогут оценить, насколько эффективно компания использует цифровые технологии для укрепления своего бренда и улучшения восприятия среди целевой аудитории.

### II. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ НА

Анализ влияния цифровых каналов на восприятие бренда требует детального рассмотрения того, как различные платформы формируют отношение потребителей к бренду. Социальные сети, благодаря своей интерактивности и широкому охвату, предоставляют брендам уникальную возможность для прямого взаимодействия с аудиторией. Успешные стратегии в социальных сетях часто включают в себя создание контента, который вызывает эмоциональный отклик и способствует вовлечению пользователей. Однако неудачные стратегии, такие как недостаток взаимодействия с пользователями или неуместный контент, могут привести к негативным реакциям и снижению лояльности.

Мобильные приложения в свою очередь играют ключевую роль в обеспечении удобства пользовательского опыта. Приложения, которые предлагают интуитивно понятный интерфейс и персонализированные предложения, способствуют укреплению связи между брендом и потребителем. В то же время, приложения с техническими проблемами или сложной навигацией могут вызвать разочарование и негативно сказаться на восприятии бренда. Веб-сайты остаются важным элементом цифрового присутствия бренда, обеспечивая платформу для предоставления информации и взаимодействия с клиентами. Успешные сайты характеризуются быстрым временем загрузки, адаптивным дизайном и качественной информацией, что способствует положительному восприятию бренда.

Особое внимание в анализе уделяется роли пользовательского опыта и персонализации. Пользовательский опыт, который включает в себя все аспекты взаимодействия с брендом через цифровые каналы, является критическим фактором в формировании отношения к бренду. Персонализация, в свою очередь, позволяет брендам предлагать уникальные и релевантные предложения, что усиливает эмоциональную связь с потребителем. Исследования показывают, что бренды, которые успешно интегрируют персонализированные элементы в свои цифровые стратегии, получают более высокие оценки удовлетворенности и лояльности клиентов. Таким образом, анализ влияния цифровых каналов на восприятие бренда подчеркивает важность стратегического подхода к управлению цифровым присутствием и акцент на создание положительного пользовательского опыта.

### III. РЕКОМЕНДАЦИИ И СТРАТЕГИИ ОПТИМИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Одним из ключевых аспектов оптимизации является повышение качества информации. Здесь

рекомендуется сосредоточиться на создании релевантного и ценного контента, который не только информирует, но и вовлекает аудиторию. Использование визуально привлекательных элементов и интерактивных форматов может значительно усилить интерес и доверие к бренду.

Улучшение пользовательского опыта также является важной составляющей успешной цифровой стратегии. Для этого необходимо обеспечить интуитивно понятную навигацию, быстрое время загрузки и адаптивный дизайн на всех платформах. Регулярное тестирование и обновление интерфейсов помогут выявить и устранить возможные проблемы, улучшая общее впечатление от взаимодействия с брендом. Внедрение персонализированных решений позволяет компаниям предлагать уникальные и релевантные предложения, что способствует укреплению эмоциональной связи с клиентами. Использование данных о поведении пользователей и предпочтениях для создания персонализированных рекомендаций и предложений может значительно повысить удовлетворенность и лояльность клиентов.

Перспективы дальнейшего развития цифровой трансформации открывают новые возможности для брендов. Внедрение передовых технологий, таких как искусственный интеллект и машинное обучение, может способствовать более глубокому пониманию потребностей клиентов и предсказанию их поведения. Это, в свою очередь, позволит компаниям разрабатывать более точные и эффективные стратегии взаимодействия. Потенциальное влияние цифровой трансформации на восприятие бренда в будущем будет зависеть от способности компаний адаптироваться к быстро меняющимся условиям и использовать инновационные подходы для создания ценности для своих клиентов. Таким образом, следование предложенным рекомендациям и стратегическое планирование помогут компаниям не только укрепить свои позиции на рынке, но и создать устойчивое и положительное восприятие бренда в цифровую эпоху.

1. Грибанов Ю. И., Шатров А. А. Сущность, содержание и роль цифровой трансформации в развитии экономических систем. Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2019. – № 3-1. – С. 44–48.
2. The Nine Elements of Digital Transformation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sloanreview.mit.edu/article/the-nine-elements-of-digital-transformation/>. – Date of access: 15.10.2024.
3. Китова О. В., Брускин С. Н. Цифровая трансформация бизнеса. Цифровая экономика. – 2018. – № 1(1). – С. 20–25.
4. Пирогова О. Е., Сморгачева Т. М. Укрепление конкурентоспособности компаний сферы услуг на основе клиентоориентированного подхода. Перспективы науки. – 2018. – № 2 (101). – С. 77–81.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ЧИСЛЕННОСТИ СТУДЕНЧЕСКИХ БРИГАД НА ОСНОВАНИИ ЗАКОНА БРУКСА

Киселевский О. С., Науменко Е. Ю.

Кафедра менеджмента, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Механико-математический факультет, Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: kiselevski@bsuir.by

*Согласно закону Ф. Брукса, численность рабочих групп сильно влияет на производительность их труда. Возрастающие с численностью группы потери времени на межличностное взаимодействие требуют контроля и оптимизации этих параметров. В статье излагаются и сравниваются два альтернативных способа математического решения задачи выбора оптимальной численности студенческих бригад, выполняющих учебную лабораторную работу.*

## ВВЕДЕНИЕ

Применение прикладных математических методов решения практических задач всегда ставило математику во главе всех методов научного познания. В свою очередь развитие математики обусловлено практической потребностью в строгой формализации естественно-научных законов и получении количественных результатов. В настоящее время основными драйверами развития математики являются прикладные задачи теории управления большими данными, машинного обучения, искусственного интеллекта, построения систем поддержки принятия управленческих решений (СППР). Современные СППР стали обязательным инструментом в управлении бизнесом крупных корпораций и даже государств. Исключением также не стала сфера образования на этапе её цифровой трансформации [1]. В свете внедрения гибких технологий управления учебным процессом [2] и оптимизации численности учебных групп встала задача нахождения оптимального соотношения состава и продуктивности студенческих бригад при коллективном выполнении лабораторных работ.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Методический эксперимент был проведён в условиях лабораторных занятий по дисциплине «Техника фотографии». В ходе эксперимента бригадам студентов с различной численностью  $N_i$  от 4 до 10 человек предоставлялось одинаковое по сложности и трудоёмкости задание. В каждой бригаде измерялся промежуток времени  $t_i$  от постановки задачи и выдачи методического описания лабораторной работы до предоставления требуемого фотоотчёта (табл. 1).

Предполагалось, что коллективное выполнение лабораторной работы позволит студентам распределить между собой трудоёмкость изучения теоретического материала. В действительности же измеренная в человеко-часах производительность бригады от её численности зависела нелинейно. Согласно закону Ф. Брукса [3] нели-

нейный характер этой зависимости объясняется временными издержками на межличностные взаимодействия, составляющими второе слагаемое в формуле производительности бригады:

$$P_i = N_i \cdot t_i = P_n + t_i \cdot k \cdot N_i \cdot (N_i - 1)/2$$

, в котором неизвестными являются два параметра: безразмерный коэффициент издержек времени  $k$ , допускаемых на межличностные взаимодействия и номинальная трудоёмкость задачи  $P_n$ . Определить значения этих двух коэффициентов и предполагалось в ходе методического эксперимента.

Таблица 1 – Экспериментальные и расчётные данные

i	Численность бригады, чел	Продолжительность труда, час	Действительная производительность, чел. час	Временные издержки на взаимодействие, чел. час
1	4	0.97	3.87	5.80k
2	5	0.80	4,00	8.00k
3	5	0.52	2,58	5.17k
4	7	0.92	6,42	19.25k
5	9	1.20	10,80	43.20k
6	10	1.13	11,33	51.00k

Тривиальная, на первый взгляд, задача решения системы из двух уравнений, описывающих производительность двух бригад, оказалась неприемлемой, из-за значительного влияния погрешностей эксперимента. Точное нахождение параметров  $k$  и  $P_n$  возможно только при учёте всех экспериментальных результатов. Однако из-за тех же погрешностей эксперимента пучок прямых, описываемых системой линейных уравнений  $A_i \cdot P_n + B_i \cdot k + C_i = 0$  не имеет общей точки (см. рис. 1).

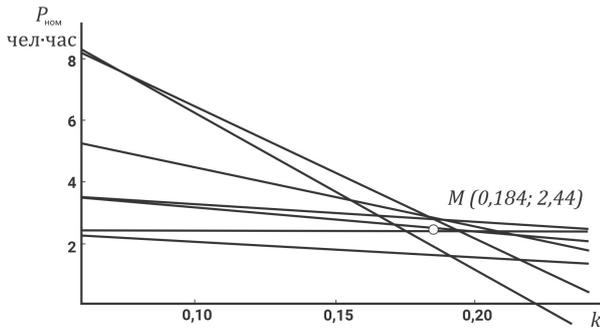


Рис. 1 – Графическая визуализация семейства линейных функций и точки  $M$ , максимально удовлетворяющей условиям

## II. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

Математическая задача заключается в нахождении той стационарной точки  $M(P_n, k)$ , расстояния от которой до каждой прямой пучка будут минимальными. Для нахождения этой точки нужно:

- записать уравнения расстояний от произвольной точки до каждой из прямых;
- просуммировать эти расстояния;
- провести исследование полученной функции двух переменных на экстремум.

Путём несложных преобразований  $T^M$  эта задача сводится к решению системы уравнений:

$$\sum_{j=1}^n \frac{A_j(A_j P_n + B_j k + C_j)}{\sqrt{A_j^2 + B_j^2} \cdot \sqrt{(A_j P_n + B_j k + C_j)^2}}$$

$$\sum_{j=1}^n \frac{B_j(A_j P_n + B_j k + C_j)}{\sqrt{A_j^2 + B_j^2} \cdot \sqrt{(A_j P_n + B_j k + C_j)^2}}$$

Для конкретных численных значений из табл. 1 решением системы уравнений являются значения:  $P_n = 2.44108$ ;  $k = 0.183916$ . Проверка выполнения достаточного условия экстремума в найденной точке, требующая нахождения частных производных функции, также подтверждает, что найденные значения являются решением задачи:

- трудоёмкость лабораторной работы составляет 2.44 человеко-часа;
- безразмерный коэффициент издержек времени составляет  $k = 0.18$  или приблизительно 11 минут в час на человека.

## III. СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

Одной из проблем данного метода вычислений является его громоздкость, возрастающая на порядки с увеличением числа экспериментов.

Более значительной проблемой является статистическая оценка результатов. Альтернативный вариант решения основан на теории математической статистики.

Если  $P_n$  и  $k$  связаны линейной зависимостью, и должны одновременно удовлетворять всем заданным условиям, то можно построить линейную функцию  $y = kx + P_n$ , график которой должен проходить через точки с эмпирически полученными неточными координатами. Воспользуемся такой аппроксимирующей функцией  $f(x) = ax + b$ , что отклонения (разности значений функции при заданных аргументах и ординат точек) будут минимальными.

Выборочная парная линейная регрессия имеет вид:  $\bar{y}_x = ax + b$ , где  $\bar{y}_x$  – условное среднее арифметическое наблюдаемых значений  $y_i$ , соответствующих значениям  $x_i$ ;  $a$  и  $b$  – точечные оценки, которые необходимо найти.

Для построения парной линейной регрессии необходимо выполнение предпосылок метода наименьших квадратов (условий Гаусса-Маркова [4]).

Статистический подход к решению задачи позволяет получить в точности те же значения, что и аналитический, однако дополненные величинами среднеквадратичной ошибки  $MSPE = 0.019$  и среднеквадратичного отклонения  $\sigma = 18.4381$ .

В целом можно заключить, что оба метода пригодны для вычислений и принятия решений, но если первый метод можно рекомендовать для практического использования в управлении предприятиями, располагающими большими вычислительными мощностями и требующими быстрого принятия оперативных решений, то второй более пригоден для научных исследований, требующих статистической обработки результатов.

Основной же результат выполненной работы заключается в экспериментально апробированной методике расчёта номинальной трудоёмкости лабораторных заданий и комплектации студенческих бригад.

## IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Позняк Т.А. Развитие понятийного аппарата цифровой трансформации высшей школы // Наука и инновации. – 2023. – №12. – С.63–67
2. Киселевский О.С., Харитон Е.О. Преподавание гибких методов управления проектами и гибкие методы преподавания // Инженерное образование в цифровом обществе : матер. Междунар. науч.-метод. конф. – Минск, БГУИР. – 2024. – С.358–363.
3. Brooks F. The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering. – Addison-Wesley. – 1975. – 441 p.
4. Черемухин А.Д., Шамин А.А. Об исследовании выполнимости условий Гаусса-Маркова при построении линейной регрессии с помощью языка R // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2021. – Т.10. – №.1. – С.26-30.

# АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕБ-СКРЕЙПИНГА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЛОВЫХ СЕТЕЙ

Колопенко Е. А.

Кафедра экономической информатики,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: e.kolopenko@bsuir.by

*Обозначены тенденции, наблюдаемые в решении задач социально-экономического анализа и управления в статистической науке. Проведен анализ применения веб-скрейпинга для исследования деловых сетей, приведены его методологические, технические и правовые возможности и ограничения.*

## ВВЕДЕНИЕ

Большие данные, в том числе данные, собранные при помощи технологии веб-скрейпинга, существенно используются в современной социогуманитарной науке. Приведем следующие типы задач социально-экономического анализа и управления, в решении которых одним из методов сбора данных, наряду с традиционными методами, является их извлечение с веб-страниц:

1. Оценка стоимости наблюдаемых товаров или услуг. Примерами могут служить квартиры или компьютерная техника. Становление и развитие цифровой экономики, развитие инфраструктуры информационно-коммуникационных технологий стимулирует использование технологии веб-скрейпинга и в официальной статистике цен. Так, например, Национальный статистический комитет Республики Беларусь использует данные платформ электронной коммерции для регистрации цен на отдельные непродовольственные товары [1].
2. Исследование занятости в цифровой экономике. Веб-скрейпинг может выступать единственным источником данных, например, при выявлении факторов, оказывающих влияние на успешность фрилансера [2].
3. Анализ социальной напряженности и социальных патологий через контент-анализ – текстовый анализ новостей и публикаций.

Перечисленные варианты не исчерпывают всех возможных форм применения веб-скрейпинга в экономике и социологии. В условиях современного информационного общества технология веб-скрейпинга оказывается крайне востребованной при исследовании конкуренции и сотрудничества фирм в рамках более или менее устойчивой сети связей.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Традиционный экономический взгляд на рынок постулирует независимость хозяйственных агентов в принятии решений. Между тем, устойчивые деловые отношения, вызванные близостью в социальном пространстве и независимостью в финансовом и управленческом отношении, транс-

формируются в отношения, которые предполагают длительные обязательства и выработку доверия. Совокупность множественных переплетенных связей в рамках более или менее разветвленной группы независимых хозяйственных агентов называют деловыми сетями. Они основаны на актах материального и символического обмена и служат для распространения деловой информации, формирования репутации, оказания взаимопомощи на формальной или неформальной основе. Деловые сети характеризуются плотностью, степенью централизации и устойчивостью, силой, теснотой и степенью формализации составляющих их деловых связей.

Вовлеченность в деловые сети является частью социального капитала. Для случая низкой степени формализации деловых связей получение экономических выгод от социального капитала в данной его форме и на данном уровне достигается за счет селективных преимуществ на индивидуальной основе [3].

В настоящее время для исследования механизмов взаимного влияния конкуренции и структуры социальных связей распространены конвенциональные источники данных:

- данные официальной статистики (показатели рыночной конъюнктуры, благосостояния населения, качества социальной сферы);
- опросы менеджеров и углубленные интервью с руководителями предприятий;
- экспертно оцениваемые показатели.

В 2015–2022 гг. доля организаций, имевших веб-сайт, выросла на 11,9 п.п. до 71,6% в 2022 г. [4]. Многие организации представлены в таких социальных сетях, как Instagram, LinkedIn. Исходный (априорный) перечень признаков, так или иначе влияющих на характеристики деловых сетей, получение которых возможно с применением технологии веб-скрейпинга, описывает круг деловых партнеров (включенных или не включенных в производство сходных благ – конкурентов и контрагентов), длительность деловых отношений, а также их динамику. Текстовое описание, приводимое в публикациях, может передавать субъективную оценку описываемого объекта. Данные активности в социальных сетях позволяют получить

оценку успешности бизнеса и реакции бизнеса на эффекты среды. Наиболее наглядно это проявляется при изменениях, связанных с действиями других хозяйственных агентов по сохранению или изменению поля сил, или, в еще более явном виде, при изменениях в системе трудовых отношений, системе собственности и политической системе.

Лента новостей и публикаций на веб-сайтах и страницах в социальных сетях позволяют в комбинации с конвенциональными источниками данных провести отвечающий целям исследования анализ на основе подходящих методов эконометрики и машинного обучения. Это позволяет устранить недостатки, присущие обоим методам сбора данных, и обеспечить более полное описание деловых сетей. Объем данных, получаемых с использованием веб-скрейпинга, достаточно велик для того, чтобы можно было получить статистически надежные оценки неизвестных параметров экономико-математических моделей.

Часто веб-скрейпингу противопоставляют Application Programming Interface (API) как более быстрый и, в некоторых случаях, более правомерный способ получения структурированных данных. Наиболее полезными с точки зрения исследования деловых сетей являются API платформ социальных сетей, платформ электронной коммерции, финансовых платформ для получения данных о пользователях, их публикациях и взаимодействиях, данных о конкурентной среде, власти поставщиков, потребителей и государства и данных о финансовом состоянии компаний соответственно. Использованию API присущи определенные недостатки, которые вынуждают исследователей исходить не из теоретико-методологической базы и задач исследования, а из доступности API и конкретных показателей, им предоставляемых.

Применение технологии веб-скрейпинга сопровождается определенными ограничениями.

Становление и развитие онлайн-платформ, с одной стороны, стимулирует развитие альтернативных методов сбора данных и, с другой стороны, способствует совершенствованию методов защиты от веб-скрейпинга. Владельцы платформ могут устанавливать ограничения на объем видимых данных, количество запросов с одного IP-адреса за определенное время, скорость загрузки во время веб-скрейпинга для недопущения несанкционированного доступа, сколько-нибудь значительного ущерба работоспособности сайта и достижения иных целей, обусловленных спецификой конкретного веб-сайта (например, блокирова-

ние автоматизированного увеличения количества подписчиков и комментариев).

Особого внимания требует правовой аспект. В качестве основного закона, регламентирующего использование информации, выступает Закон Республики Беларусь от 10 ноября 2008 г. № 455-З «Об информации, информатизации и защите информации», а в области защиты персональных данных – Закон Республики Беларусь от 7 мая 2021 г. № 99-З «О защите персональных данных». Из установленных законодательством ограничений следует, что веб-скрейпинг правомерен для извлечения любых общедоступных данных, не защищенных авторским правом. Извлечение персональных данных пользователей социальных сетей осуществляется только с их согласия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология веб-скрейпинга может стать серьезным дополнением к традиционным методам сбора данных для исследования деловых сетей. Несмотря на методологические, технические и правовые ограничения ее применения, у статистиков, экономистов, социологов наблюдается возросший гносеологический интерес к понятию больших данных вообще и научному обоснованию веб-скрейпинга. Учитывая функции и возможности деловых сетей, многочисленность сил, их образующих, и субъектов и явлений, испытывающих их воздействие, крайне важной является задача совершенствования методов исследования, которые бы позволили раскрыть суть взаимосвязи между внедоговорными отношениями и различными факторами, детерминирующими соотношение позиций конкурентов и партнеров.

1. Статистика потребительских цен [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://dataportal.belstat.gov.by/osids/rubric-metadata/1063264>. – Дата доступа: 23.10.2024.
2. Вилкова, О. В. К вопросу о научной осмысленности применения веб-скрейпинга как метода сбора данных в социологических исследованиях / О. В. Вилкова // Вестн. Том. гос. ун-та. Философия. Социология. Политология. – 2020. – № 54. – С. 163–175.
3. Радаев, В. В. Новый институциональный подход: построение исследовательской схемы / В. В. Радаев // Журнал социологии и социальной антропологии. – 2001. – Т. 4, № 3. – С. 109–130.
4. Статистический ежегодник Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/66e/710tc5n78wkj4ulk6er8jxshk1m1k740.pdf>. – Дата доступа: 19.10.2024.

# ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КАК ФАКТОР КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Крюкова Д. С.

Кафедра менеджмента, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: d.krukova@bsuir.by

*Одним из важных показателей эффективности и конкурентоспособности центров обработки данных является их энергоэффективность. В работе показаны показатели эффективности использования энергии. В основной части отражены методы крупных компаний по снижению показателей PUE. Выводы подчеркивают важность энергоэффективности развития современных ЦОД, способствующего их конкурентоспособности на глобальном рынке.*

## ВВЕДЕНИЕ

Цифровая трансформация стала важным аспектом современного общества и сыграла ключевую роль в формировании конкурентоспособности компаний. Цифровая экономика открыла новые возможности и экономические преимущества для бизнеса, способствуя укреплению его позиций на рынке [1]. В связи с этим, использование стандартных методов повышения конкурентоспособности бизнеса уже недостаточно. Цифровизация экономики является трендом современной эпохи, а повышение конкурентоспособности занимает устойчивую позицию в развитии предприятий в условиях цифровизации бизнес-процессов [2]. Индустрия центров обработки данных (ЦОД) пережила быстрый рост и трансформацию, обусловленные растущим спросом на возможность хранения и обработки данных. Активный рост объема данных напрямую связан с развитием облачных вычислений, искусственного интеллекта, машинного обучения, IoT (Интернет вещей) и в целом стремительного развития электронной экономики. В результате, индустрия центров обработки данных стала высококонкурентной и ряд экономических показателей существенно влияют на затраты и рыночное восприятие центров обработки данных. Одним из таких показателей является энергоэффективность.

## I. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Стратегия энергоэффективности тесно связана с технологической стратегией, которая направлена на разработку, использование и оценку современных технологий. Стоит отметить, что экономические показатели, касающиеся энергопотребления и организации производственного процесса, находятся в системной взаимосвязи [3]. Таким образом, тема энергоэффективности в контексте конкурентоспособности центров обработки данных является актуальной, т.к. затрагивает экономические и экологические аспекты страны.

Три основные функции центров обработки данных (хранение, распределение и обработка) потребляют электроэнергию. Каждая из этих

функций потребляют электроэнергию не в равной степени: функция хранения является самой не энергоемкой, а функции обработки и вычисления потребляют больше всего энергии. По данным международного энергетического агентства доля энергопотребления серверов (рисунок 1) в общем потреблении энергопотребления центров обработки данных выросла с 46 процентов в 2015 году до 57 процентов в 2021 году [4].

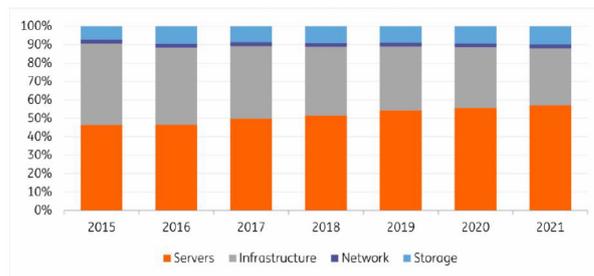


Рис. 1 – Доли энергопотребления в центрах обработки данных

Показателем для оценки повышения энергоэффективности ЦОД является эффективность использования энергии (PUE). В результате технологического процесса PUE в мировом масштабе снизился со значения 2,5 в 2007 году до значения 1,55 в 2022 году (рисунок 2). Крупные игроки рынка ЦОД за последнее время снизили свои показатели PUE ниже среднего значения по миру: PUE Google – 1,1; PUE Equinix – 1,2; PUE Amazon – 1,1. По данным международного сертифицированного института, разработавшего стандарт надежности центров обработки данных, показатель средней годовой эффективности использования электроэнергии в крупнейших центрах обработки данных динамично идет на снижение [5].

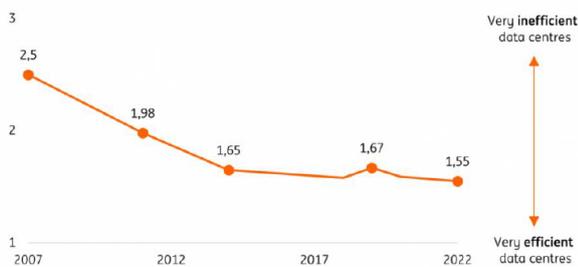


Рис. 2 – Показатель PUE в динамике за 15 лет

Снижение этого показателя связано с внедрением новых технологий, которые влияют на снижение эксплуатационных технологий и на сокращение углеродного следа.

#### МЕТОДЫ КРУПНЫХ КОМПАНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЯ PUE

*Apple:* корпорация построила две «солнечные фермы» [6].

*Amazon:* компанией было решено построить ветроэнергостанции [7].

*Facebook:* ЦОД этой компании построен в месте пересечения реки Луле в Ботнический залив. Этот центр обработки данных получает энергию с гидроэлектростанции [8].

*Equinix AM3:* при строительстве ЦОД, компания использовала гибридные охлаждающие башни [9].

*Verne Global:* при строительстве ЦОД был выбран холодный климат (Исландия). ЦОД этой компании является одним из самых экологически надежных [10].

Многие компании, а особенно кто владеет гипермасштабируемыми центрами обработки данных, ежегодно предоставляют отчет об экологическом воздействии ЦОД, тем самым развивая «зеленую» экономику. Устойчивое развитие «зеленых» центров обработки данных может привести к нескольким экономическим эффектам:

1. Экономия затрат. Снижение энергопотребления и повышение эффективности охлаждения приводят к снижению счетов за электроэнергию и эксплуатационных расходов.
2. Долгосрочная экономия. Инвестиции в возобновляемые источники энергии и энергоэффективное оборудование могут потребовать первоначальных затрат, но могут привести к существенной долгосрочной экономии в течение жизненного цикла центра обработки данных.
3. Повышенная конкурентоспособность. «Зеленые» центры обработки данных получают конкурентное преимущество на рынке за

счет привлечения экологически сознательных клиентов, партнеров и инвесторов.

## II. Вывод

Таким образом, энергоэффективность центров обработки данных является ключевым фактором их конкурентоспособности с современной электронной экономике. Внедрение инновационных технологий и выбор географического месторасположение ЦОД позволяют снизить эксплуатационные затраты и способствуют улучшению экологической устойчивости. Энергосберегающие решения также улучшают репутацию компании и подчеркивают устойчивость развития и расположенность к социально-ответственному бизнесу, тем самым, повышая уровень конкурентоспособности.

1. Беляцкая, Т. Н. Экономическое содержание и инновационный фактор развития электронных рынков /Т. Н. Беляцкая // Наука и инновации. – 2021. – № 12 (226). – С. 56–62. DOI: <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2021-12-56-62>.
2. Беляцкая, Т. Н. Тенденции мирового рынка электронной коммерции / Т. Н.Беляцкая // Потребительская кооперация. – 2021. – № 3. – С. 44–49.
3. Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика: учеб. пособие. 3-е изд., испр. и доп. М.: Дело, 2004. – 888 с.
4. Показатели энергоэффективности: основы статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/f27e9703-1bb0-4aa5-a1c5-0397ee9c145d/Fundamentals\\_RU\\_final\\_FULLWEB.PDF](https://iea.blob.core.windows.net/assets/f27e9703-1bb0-4aa5-a1c5-0397ee9c145d/Fundamentals_RU_final_FULLWEB.PDF). – Дата доступа: 05.11.2024
5. Международный сертифицированный институт стандартов надежности ЦОД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uptimeinstitute.com/>. – Дата доступа: 05.11.2024.
6. Сокращение углеродного следа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rusonyx.ru/blog/post/uglerodnaya-dieta/>. – Дата доступа: 05.11.2024
7. Как работает дата-центр двойного назначения: 2 подхода и реальные кейсы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alldc.ru/news/6570.html>. – Дата доступа: 05.11.2024
8. Обзор «зеленых» энергетических стратегий и методик для современных центров обработки данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.deltapowersolutions.com/media/download/White-Paper\\_Overview-of-Green-Energy-Strategies-and-Techniques-for-Modern-Data-Centers\\_WP0014\\_ru-ru.pdf](http://www.deltapowersolutions.com/media/download/White-Paper_Overview-of-Green-Energy-Strategies-and-Techniques-for-Modern-Data-Centers_WP0014_ru-ru.pdf). – Дата доступа: 05.11.2024
9. Как дата-центры снижают негативное воздействие на природу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://selectel.ru/blog/green-data-centers/>. – Дата доступа: 05.11.2024
10. «Зеленые» энергетические стратегии для ЦОД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tempesto.ru/blog/tsod/zelenye-energeticheskie-strategii-dlya-tsod/>. – Дата доступа: 05.11.2024

# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И АКТУАЛЬНОСТЬ ИХ РАЗРАБОТКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Круковский Г. В., Полякова А. П., Шалькевич П. К.  
Инженерно-экономический факультет,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Кафедра информационных технологий в экологии и медицине,  
Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: {krukovskiygleb, palyakova.hanna, p.k.shalkevich}@gmail.com

*Работа акцентирует внимание на актуальности внедрения экономических данных в геоинформационные системы (ГИС). В ней исследуется, как интеграция этих данных может служить эффективным средством для повышения качества управления территориями. Особое внимание уделяется синергии экономических показателей, что откроет новые возможности для комплексного управления территориями Республики Беларусь. Это, в свою очередь, позволит разрабатывать конкретные решения для улучшения экологической ситуации и повышения эффективности национальных бизнес-процессов.*

## ВВЕДЕНИЕ

Географические информационные системы (ГИС) становятся важным инструментом для управления территориями, обеспечивая интеграцию пространственных и атрибутивных данных. Эти системы позволяют не только визуализировать информацию, но и эффективно анализировать ее, что значительно улучшает процесс принятия решений. В условиях динамичного развития экономики и растущей потребности в рациональном использовании ресурсов интеграция экономических данных в ГИС открывает новые горизонты для планирования и управления.

Для Республики Беларусь это становится особенно актуальным, так как внедрение ГИС может значительно повысить эффективность управления территориальными ресурсами. Использование ГИС позволяет более точно оценивать расположение и доступность инфраструктуры, а также анализировать демографические и экономические показатели в конкретных регионах.

## I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ГИС

Географические информационные системы (ГИС) представляют собой интегрированные платформы, которые объединяют методы сбора, хранения, анализа и визуализации пространственных данных и сопутствующей информации. Эти системы позволяют пользователям работать с различными типами данных, включая пространственные, атрибутивные, библиотеки условных знаков и метаданные [1]. Каждое из этих типов данных играет важную роль в возможности ГИС эффективно обрабатывать и анализировать информацию.

Одной из ключевых характеристик ГИС является их способность обрабатывать и анализировать данные в контексте географического пространства [2]. Это позволяет учитывать уникальные особенности и характеристики различных

территорий, что делает ГИС незаменимыми в ряде областей. Например, в сельском хозяйстве ГИС могут использоваться для анализа климатических условий, типов почвы и распределения ресурсов, что критически важно для повышения урожайности и устойчивости агросистем. В экологии ГИС позволяют отслеживать изменения в экосистемах, проводить мониторинг биоразнообразия и оценивать влияние человеческой деятельности на окружающую среду.

ГИС также находят широкое применение в транспортной сфере, где они помогают в планировании и оптимизации транспортных маршрутов, а также в градостроительстве, где используются для разработки эффективных планов застройки. Например, с помощью ГИС можно анализировать поток транспорта в различных районах, что позволяет улучшить дорожную инфраструктуру и снизить заторы. В области охраны окружающей среды системы ГИС могут использоваться для моделирования последствий природных катастроф и изменения климата, что помогает разработать стратегии адаптации и смягчения последствий. Таким образом, значимость ГИС в современных исследованиях и практической деятельности сложно переоценить, поскольку они способствуют более осознанному и эффективному использованию территории, а также оптимизации взаимодействия различных секторов экономики.

## II. ИНТЕГРАЦИЯ ГИС И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Системы ГИС обладают обширными интеграционными возможностями, позволяя учитывать не только пространственные, но и демографические данные. Это особенно важно для планирования транспортных сетей, оптимального размещения объектов социальной инфраструктуры и управления ресурсами. Одним из наиболее перспективных направлений является интеграция экономических данных, что позволяет проводить

комплексный анализ, учитывающий как географические, так и экономические аспекты.

Внедрение экономических показателей в ГИС открывает новые возможности для анализа и принятия решений [3]. Например, это может способствовать более точной оценке качества и ценности территорий, оптимизации использования земельных ресурсов и улучшению управленческих решений. ГИС могут использоваться для анализа инвестиционной привлекательности различных регионов, что поможет определить, где лучше всего размещать новые производственные мощности или социальные объекты.

Кроме того, интеграция экономических данных в ГИС позволяет проводить более глубокие исследования рыночных тенденций и конкурентной среды, что является важным как для бизнеса, так и для государственных структур. Это может включать изучение спроса на различные товары и услуги в зависимости от географического положения, что помогает в разработке целевых стратегий маркетинга и продаж. Используя данные о доходах, уровне безработицы и других экономических показателях, ГИС могут помочь выявить регионы с наибольшим потенциалом для инвестиций и развития.

Дополнительно, использование ГИС в сочетании с экономическими данными способствует более эффективному распределению ресурсов, что важно для устойчивого развития регионов. Такой подход позволяет не только оптимизировать бизнес-процессы, но и улучшить качество жизни населения, обеспечивая доступ к необходимым услугам и ресурсам. Таким образом, ГИС становятся важным инструментом для создания сбалансированного и устойчивого экономического роста.

### III. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИС В БЕЛАРУСИ

На сегодняшний день в Беларуси активно используются такие ГИС-продукты, как ArcGIS, QGIS и 2ГИС [4], которые предлагают обширные возможности для работы с пространственными данными. Эти системы позволяют реализовывать широкий спектр задач, от визуализации данных до сложного анализа. Однако в существующих решениях все еще недостаточно представлены экономические данные, особенно с учетом территориальной привязки.

Важным шагом в развитии ГИС в Беларуси является интеграция экономической информации,

например, из Статистического бюллетеня Национального банка Республики Беларусь. Этот бюллетень содержит ценные статистические данные, которые могут быть использованы для анализа экономической ситуации в стране. Интеграция таких данных в ГИС позволит более эффективно решать задачи по планированию и прогнозированию, а также оценивать инвестиционную привлекательность различных территорий.

Внедрение экономических данных в геоинформационные системы откроет новые возможности для комплексного управления территориями. Это позволит не только повысить эффективность бизнес-процессов, но и улучшить экологическую обстановку. Использование ГИС для анализа и принятия управленческих решений поможет создать более устойчивую и эффективную экономическую среду в стране.

Кроме того, обучение специалистов в области ГИС и повышение осведомленности населения о возможностях этих систем также будут способствовать их успешному внедрению. Это создаст условия для более активного использования ГИС в различных секторах экономики, что в конечном итоге приведет к улучшению качества жизни и благосостояния граждан. Таким образом, интеграция ГИС в экономику страны станет не только шагом к более эффективному управлению ресурсами, но и важным инструментом для достижения устойчивого развития и повышения конкурентоспособности Беларуси на международной арене.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шалькевич, П. К. Система управления данными и программное обеспечение для комплексной оценки состояния биосферы / П. К. Шалькевич, Д. С. Лавникович, Ю. С. Городная, А. В. Чемецова // Доклады БГУИР. – 2024. – Т. 22, № 4. – С. 92–99. Mangrum, J. M. The evaluation and management of bradycardia / J. M. Mangrum, J. P. DiMarco // N. Engl. J. Med. – 2000. – Vol. 342, № 10. – P. 703–709.
2. Дудина, Н. Н., Геоинформационная система как средство визуализации данных о безработице в Республике Беларусь / Н. Н. Дудина, Ю. В. Фролова // Научные записки молодых исследователей. – 2019. – № 6. – С. 66–74.
3. Блиновская, Я. Ю. Введение в геоинформационные системы. / Блиновская Я. Ю., Задоя Д. С. – М. : Форум, 2016. – 112 с.
4. Шокин, Ю. И. ГИС сегодня: состояние, перспективы, решения / Ю. И. Шокин, В. П. Потапов // Вычислительные технологии. – 2015. – 20 (5). – С. 175–213.

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО КОНТЕНТ-МАРКЕТИНГА

Купрейчик А. С., Комличенко В. Н.

Кафедра экономической информатики,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: a.kuprejchik@bsuir.by, v.komlitchenko@gmail.com

*В данной статье рассмотрено, каким образом методы обработки естественного языка могут быть использованы для реализации персонализированного контент-маркетинга, приведены примеры успешного применения этих технологий, а также проанализированы преимущества и ограничения их использования.*

## ВВЕДЕНИЕ

Персонализированный контент-маркетинг – это стратегия, при которой контент создается и распространяется с учетом индивидуальных предпочтений и поведения каждого конкретного пользователя. В условиях перенасыщенного digital-пространства, где пользователи сталкиваются с огромным объемом информации ежедневно, персонализация контента становится ключевой для привлечения и удержания аудитории [1].

Методы обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP) играют ключевую роль в реализации персонализированного контент-маркетинга [2]. Основные направления применения данной технологий в контент-маркетинге включают:

- классификация текста;
- извлечение сущностей и ключевых фраз;
- анализ тональности и настроения;
- генерация персонализированного контента;
- чат-боты и диалоговые системы [3].

Комплексное применение описанных методов NLP позволяет создавать высоко персонализированный контент, максимально соответствующий интересам, потребностям и ожиданиям каждого конкретного пользователя.

## I. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ NLP В КОНТЕНТ-МАРКЕТИНГЕ

Методы NLP позволяют глубоко анализировать историю взаимодействия пользователя с брендом – его просмотры страниц, переходы по ссылкам, реакции на контент и т.д. На основе этих данных можно автоматически формировать персонализированные email-рассылки, которые будут содержать наиболее релевантные для конкретного человека предложения, заголовки, изображения и призывы к действию.

Технологии NLP, в частности, генерация текста на основе языковых моделей, позволяют быстро и в больших объемах создавать захватывающие заголовки, описания товаров, промо-текст и другой контент для размещения в социальных сетях.

Такой метод как определение семантической близости, классификация текстов по темам и извлечение сущностей, может использоваться для более точного таргетирования рекламы. Алгоритмы анализируют содержание веб-страниц, поисковые запросы пользователей и другие источники, чтобы выявлять их интересы и намерения. На основе этих данных рекламные объявления затем автоматически показываются наиболее заинтересованным пользователям, повышая их эффективность.

Технологии NLP позволяют обрабатывать большие объемы текстовых отзывов, жалоб и комментариев, чтобы выявлять основные темы, проблемы и настроения аудитории. Это помогает быстро реагировать на негативные отклики, корректировать свои продукты или услуги. Кроме того, анализ обратной связи часто становится ценным источником инсайтов для разработки новых маркетинговых стратегий [4].

## II. ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ NLP В КОНТЕНТ-МАРКЕТИНГЕ

Применение методов обработки естественного языка в контент-маркетинге приносит целый ряд существенных преимуществ:

1. Персонализированный контент, основанный на анализе поведения пользователей и их предпочтений с помощью NLP-технологий, демонстрирует гораздо более высокую эффективность по сравнению с обезличенными, «массовыми» материалами. Пользователи более заинтересованно воспринимают релевантные им сообщения, что выражается в росте показателей CTR (Click-Through Rate – показатель кликабельности), конверсии, лояльности и других ключевых метрик [1].
2. Автоматизация создания заголовков, описаний, персонализированных рекомендаций и другого контента на основе NLP позволяет значительно ускорить и удешевить этот процесс по сравнению с ручной работой. Более того, аналитика, предоставляемая NLP-решениями, помогает быстро выявлять наи-

более эффективные форматы и темы, оптимизируя контент-стратегию [2].

3. Методы NLP дают возможность глубже изучать поведение и настроения целевой аудитории. Это помогает выявлять нерешенные проблемы, новые тренды, а также лучше понимать запросы и мотивацию потребителей. Такие инсайты, в свою очередь, становятся основой для создания контента, максимально отвечающего потребностям пользователей.

В совокупности эти преимущества делают применение методов NLP критически важным инструментом для успешной реализации персонализированного контент-маркетинга в современных условиях. NLP открывает качественно новые возможности для более глубокого понимания аудитории, создания релевантного контента и, как следствие, повышения его вовлекающей силы и конверсионности [4].

### III. ОГРАНИЧЕНИЯ И ВЫЗОВЫ

Несмотря на очевидные преимущества использования методов обработки естественного языка в контент-маркетинге, существует ряд ограничений и вызовов, которые необходимо учитывать при внедрении таких решений.

1. Эффективность применения NLP-технологий в значительной степени зависит от качества и достоверности используемых моделей. Если алгоритмы классификации, извлечения сущностей или анализа тональности работают неточно, это может привести к ошибочным выводам и неверной персонализации контента. Особенно остро эта проблема стоит в случае узкоспециализированных или быстро изменяющихся предметных областей. Поэтому важно тщательно тестировать и верифицировать NLP-модели перед их использованием в реальных маркетинговых кампаниях [1].
2. Использование данных о пользователях для высокотаргетированной персонализации контента поднимает вопросы конфиденциальности и этики. Чрезмерно детальная индивидуализация может восприниматься как вторжение в личное пространство и вызывать недоверие у аудитории.
3. Внедрение NLP-систем в контент-маркетинг сопряжено с определенными техническими сложностями. Необходимо обеспечить бесшовную интеграцию с CRM-системами, средствами аналитики, email-платформами и другими используемыми инструментами. Это может потребовать значительных ресурсов и усилий по настройке, синхронизации и оптимизации всей технологической экосистемы. Отсутствие должной интеграции грозит фрагментарностью данных и возник-

новением «узких мест» в маркетинговых процессах [3].

Для преодоления указанных ограничений и вызовов компаниям необходимо тщательно подходить к выбору и внедрению NLP-технологий, обеспечивать высокое качество используемых моделей, соблюдать этические нормы персонализации и уделять особое внимание интеграции новых решений в существующий маркетинговый стек. Только комплексный подход позволит в полной мере раскрыть потенциал обработки естественного языка для повышения эффективности контент-маркетинга.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, можно с уверенностью сказать, что применение методов обработки естественного языка открывает качественно новые возможности для персонализированного контент-маркетинга. Технологии NLP позволяют глубже понимать потребности и интересы потребителей, создавать высокорелевантный контент, повышать вовлеченность аудитории и эффективность маркетинговых кампаний.

Несомненно, внедрение этих технологий связано с техническими и этическими вызовами. Однако суммарный положительный эффект от применения NLP в контент-маркетинге делает эту задачу крайне актуальной для современных компаний, стремящихся к росту и повышению эффективности своих усилий в цифровых каналах.

Всестороннее изучение возможностей обработки естественного языка, эксперименты с различными NLP-решениями и внедрение их в контент-стратегию позволит добиться качественного прорыва в персонализации коммуникаций с аудиторией и вывести контент-маркетинг на новый уровень эффективности.

1. Контент маркетинг: как создать персонализированный контент маркетинг, который найдет отклик у вашей аудитории [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://developers.sber.ru/help/ml/natural-language-processing-techniques](https://fastercapital.com/ru/content/P5PbPеСbСbP«СГРёPе-СbP»СГРёP5PbPхP, PчCS-P5PеP, P, СКPёPч- PёPеСFСİСbPеPçСГP«P5PеP, PчPх-P5PеСİPхP5P«-СFСbPеСГСbPеP»Pе- PçCFP»P«PbСEPчP«-P5PеP, PчPх- DMP- P5PbCS- PеP, PеPbPчPçPе-PеСbP5PçСbP«СГPчPç.html, свободный (дата обращения: 26.08.2024) электрокардиография и электрокардиостимуляция / Л. В. Чирейкин [и др.]. – СПб.: Инкарт, 1999. – 150 с.</a></li><li>2. Методы обработки естественного языка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href=), свободный (дата обращения: 27.09.2024).
3. NLP – что это [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://evmservice.ru/blog/nlp-что-это/>, свободный (дата обращения: 28.09.2024).
4. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных / Е. И. Большакова, К. В. Воронцов, Н. Э. Ефремова, Э. С. Клышински, Н. В. Лукашевич, А. С. Сапин // Изд-во НИУ ВШЭ (Москва). – 2017. – 269 с.

# ПОСТРОЕНИЕ МАТРИЦЫ СОЦИАЛЬНО-ЛИЧНОСТНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ IT-СПЕЦИАЛИСТОВ

Милютин А. А., Кольшклина Д. Е., Киселевский О. С.

Кафедра менеджмента,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: kiselevski@bsuir.by

*Современные тенденции к гуманизации экономики и управления социальными системами требуют от предприятий не исключения влияния человеческого фактора, а напротив, тщательного его учёта и прогнозирования. Современные обоснования HR-решений позволяют на математическом, программно реализованном уровне выявлять ключевые навыки персонала, необходимые для достижения стратегических целей предприятия.*

## ВВЕДЕНИЕ

Разнообразные метрики, такие как коэффициенты удержания, производительность и затраты на обучение, рентабельность инвестиций в человеческий ресурс помогают количественно оценивать эффективность компетенций и их влияние на результаты организации. Создание матрицы компетенций требует системного подхода, включая не только определение компетенций, но и их интеграцию в HR-процессы, такие как рекрутмент, обучение и оценка производительности.

Если под компетенцией понимать базовую характеристику, необходимую для успешного выполнения задач или ролей [1], то матрица компетенций должна включать знания, отношения, навыки, ценности и мотивы, требуемые для эффективного выполнения обязанностей в рамках каждой конкретной отдельной должности.

Компетенции можно разделить на две основные группы: профессиональные компетенции и социально-личностные. Если под первыми понимаются знания и навыки, которые относятся к конкретной профессиональной области, то вторые определяют межличностные взаимодействия, мотивацию и вовлечённость, инновационность, лояльность и прочие психологические качества, определяющие потенциал работника к личностному росту, саморазвитию, его способность развивать свои профессиональные компетенции согласно стратегии развития предприятия.

## I. КАРТИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЛИЧНОСТНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

Картирование социально-личностных компетенций – это сложный процесс, который полагается одновременно и на методологию дифференциальной психологии [2] и на математическое статистическое моделирование [3]. В ходе картирования сотрудник или претендент на должность

оценивает и определяет как свои сильные и слабые психологические стороны так и характеры коллег, эмоциональный климат коллектива в целом [4]. Полученный при этом психологический портрет личности математически сопоставляется с матрицей социально-личностных компетенций (табл. 1), требуемых для занимаемой должности. Визуализацией результата может служить проекция эмоционального вектора сотрудника [5] на вектор предприятия, должности, подразделения.

Матрица компетенций играет ключевую роль в эффективном управлении человеческими ресурсами и достижении стратегических целей компании. Четкое определение ролей и необходимых компетенций позволяет оптимизировать процессы найма, управления производительностью и карьерным ростом сотрудников. Картирование компетенций не только помогает в выявлении сильных сторон работников и формировании эффективных команд, но и служит основой для стратегического развития компании, учитывающего потребности современного рынка.

## II. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Uddin M. I., Tanchi K. R., Alam M. N. Competency mapping: A tool for HR excellence // European Journal of Business and Management. – 2012. – Т. 4. – №. 5. – Р. 90–98.
2. Киселевский О. С. Косякова Е. В. Психометрическая модель тестирования индивидуальных интересов и компетенций студентов // Современное образование: интеграция образования, науки, бизнеса и власти : матер. междунар. науч.-метод. конф. ТУСУР. – Томск, 2024. – С. 26–33.
3. Днепровская Н. В. Метод исследования компетенций субъектов цифровой экономики // Открытое образование. – 2020. – Т. 24. – №. 1. – С. 4–12.
4. Этуев Х. Х. и др. Методический подход к формированию матрицы компетенций под запросы цифровой экономики // Вопросы образования. – 2023. – №. 2. – С. 214–240.
5. Kondrashov O., Robertson R. The Human Vector. Charleston. South Carolina. Advantage. – 2020. – 221 p.

Таблица 1 – Матрица социально-личностных компетенций it-специалистов

Компетенции	1. Frontend-разработчик	2. Backend-разработчик	3. DevOps-инженер	4. Системный администратор	5. DataScientist	6. UX/UI-дизайнер	7. QA-инженер	8. Бизнес-аналитик	9. Архитектор ПО	10. Инженер по информационной безопасности
1. Стрессоустойчивость	L 1 , 1	L 1 , 2	L 1 , 3	L 1 , 4	L 1 , 5	L 1 , 6	L 1 , 7	L 1 , 8	L 1 , 9	L 1 , 10
2. Целестремленность	L 2 , 1	L 2 , 2	L 2 , 3	L 2 , 4	L 2 , 5	L 2 , 6	L 2 , 7	L 2 , 8	L 2 , 9	L 2 , 10
3. Самоорганизованность	L 3 , 1	L 3 , 2	L 3 , 3	L 3 , 4	L 3 , 5	L 3 , 6	L 3 , 7	L 3 , 8	L 3 , 9	L 3 , 10
4. Склонность к саморефлексии	L 4 , 1	L 4 , 2	L 4 , 3	L 4 , 4	L 4 , 5	L 4 , 6	L 4 , 7	L 4 , 8	L 4 , 9	L 4 , 10
5. Лидерство	L 5 , 1	L 5 , 2	L 5 , 3	L 5 , 4	L 5 , 5	L 5 , 6	L 5 , 7	L 5 , 8	L 5 , 9	L 5 , 10
6. Гибкость в принятии решений	L 6 , 1	L 6 , 2	L 6 , 3	L 6 , 4	L 6 , 5	L 6 , 6	L 6 , 7	L 6 , 8	L 6 , 9	L 6 , 10
7. Эмоциональный интеллект	L 7 , 1	L 7 , 2	L 7 , 3	L 7 , 4	L 7 , 5	L 7 , 6	L 7 , 7	L 7 , 8	L 7 , 9	L 7 , 10
8. Умение работать в команде	L 8 , 1	L 8 , 2	L 8 , 3	L 8 , 4	L 8 , 5	L 8 , 6	L 8 , 7	L 8 , 8	L 8 , 9	L 8 , 10
9. Антиконфликтное управление	L 9 , 1	L 9 , 2	L 9 , 3	L 9 , 4	L 9 , 5	L 9 , 6	L 9 , 7	L 9 , 8	L 9 , 9	L 9 , 10
10. Креативность	L 10 , 1	L 10 , 2	L 10 , 3	L 10 , 4	L 10 , 5	L 10 , 6	L 10 , 7	L 10 , 8	L 10 , 9	L 10 , 10
11. Коммуникабельность	L 11 , 1	L 11 , 2	L 11 , 3	L 11 , 4	L 11 , 5	L 11 , 6	L 11 , 7	L 11 , 8	L 11 , 9	L 11 , 10
12. Перфекционизм	L 12 , 1	L 12 , 2	L 12 , 3	L 12 , 4	L 12 , 5	L 12 , 6	L 12 , 7	L 12 , 8	L 12 , 9	L 12 , 10
13. Внимание к деталям	L 13 , 1	L 13 , 2	L 13 , 3	L 13 , 4	L 13 , 5	L 13 , 6	L 13 , 7	L 13 , 8	L 13 , 9	L 13 , 10
14. Ответственность за результат	L 14 , 1	L 14 , 2	L 14 , 3	L 14 , 4	L 14 , 5	L 14 , 6	L 14 , 7	L 14 , 8	L 14 , 9	L 14 , 10
15. Пунктуальность	L 15 , 1	L 15 , 2	L 15 , 3	L 15 , 4	L 15 , 5	L 15 , 6	L 15 , 7	L 15 , 8	L 15 , 9	L 15 , 10
16. Инициативность	L 16 , 1	L 16 , 2	L 16 , 3	L 16 , 4	L 16 , 5	L 16 , 6	L 16 , 7	L 16 , 8	L 16 , 9	L 16 , 10
17. Критическое мышление	L 17 , 1	L 17 , 2	L 17 , 3	L 17 , 4	L 17 , 5	L 17 , 6	L 17 , 7	L 17 , 8	L 17 , 9	L 17 , 10
18. Склонность к руководству	L 18 , 1	L 18 , 2	L 18 , 3	L 18 , 4	L 18 , 5	L 18 , 6	L 18 , 7	L 18 , 8	L 18 , 9	L 18 , 10
19. Склонность к планированию	L 19 , 1	L 19 , 2	L 19 , 3	L 19 , 4	L 19 , 5	L 19 , 6	L 19 , 7	L 19 , 8	L 19 , 9	L 19 , 10
20. Клиентоориентированность	L 20 , 1	L 20 , 2	L 20 , 3	L 20 , 4	L 20 , 5	L 20 , 6	L 20 , 7	L 20 , 8	L 20 , 9	L 20 , 10
21. Самообладание	L 21 , 1	L 21 , 2	L 21 , 3	L 21 , 4	L 21 , 5	L 21 , 6	L 21 , 7	L 21 , 8	L 21 , 9	L 21 , 10
22. Адаптивность	L 22 , 1	L 22 , 2	L 22 , 3	L 22 , 4	L 22 , 5	L 22 , 6	L 22 , 7	L 22 , 8	L 22 , 9	L 22 , 10
23. Готовность к постоянному обучению	L 23 , 1	L 23 , 2	L 23 , 3	L 23 , 4	L 23 , 5	L 23 , 6	L 23 , 7	L 23 , 8	L 23 , 9	L 23 , 10
24. Ориентация на результат	L 24 , 1	L 24 , 2	L 24 , 3	L 24 , 4	L 24 , 5	L 24 , 6	L 24 , 7	L 24 , 8	L 24 , 9	L 24 , 10
25. Соблюдение корпоративной этики	L 25 , 1	L 25 , 2	L 25 , 3	L 25 , 4	L 25 , 5	L 25 , 6	L 25 , 7	L 25 , 8	L 25 , 9	L 25 , 10
26. Лояльность	L 26 , 1	L 26 , 2	L 26 , 3	L 26 , 4	L 26 , 5	L 26 , 6	L 26 , 7	L 26 , 8	L 26 , 9	L 26 , 10
27. Ориентация на устойчивое развитие	L 27 , 1	L 27 , 2	L 27 , 3	L 27 , 4	L 27 , 5	L 27 , 6	L 27 , 7	L 27 , 8	L 27 , 9	L 27 , 10
28. Решительность	L 28 , 1	L 28 , 2	L 28 , 3	L 28 , 4	L 28 , 5	L 28 , 6	L 28 , 7	L 28 , 8	L 28 , 9	L 28 , 10
29. Стрессоустойчивость	L 29 , 1	L 29 , 2	L 29 , 3	L 29 , 4	L 29 , 5	L 29 , 6	L 29 , 7	L 29 , 8	L 29 , 9	L 29 , 10
30. Настойчивость	L 30 , 1	L 30 , 2	L 30 , 3	L 30 , 4	L 30 , 5	L 30 , 6	L 30 , 7	L 30 , 8	L 30 , 9	L 30 , 10
31. Инновационность	L 31 , 1	L 31 , 2	L 31 , 3	L 31 , 4	L 31 , 5	L 31 , 6	L 31 , 7	L 31 , 8	L 31 , 9	L 31 , 10
32. Открытость новому	L 32 , 1	L 32 , 2	L 32 , 3	L 32 , 4	L 32 , 5	L 32 , 6	L 32 , 7	L 32 , 8	L 32 , 9	L 32 , 10
33. Аналитическое мышление	L 33 , 1	L 33 , 2	L 33 , 3	L 33 , 4	L 33 , 5	L 33 , 6	L 33 , 7	L 33 , 8	L 33 , 9	L 33 , 10
34. Способность принимать самостоятельные решения	L 34 , 1	L 34 , 2	L 34 , 3	L 34 , 4	L 34 , 5	L 34 , 6	L 34 , 7	L 34 , 8	L 34 , 9	L 34 , 10

# ПРОЦЕНТНЫЙ РИСК БАНКА. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ

Нагулевич Р. С.  
Кафедра экономической информатики,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: nagulevicrita@gmail.com

## ВВЕДЕНИЕ

Национальным банком Республики Беларусь установлены требования к управлению рисками, возникающими при осуществлении деятельности банками, и небанковскими кредитно-финансовыми организациями.

В соответствии с инструкцией «Об организации корпоративного управления», утвержденной Постановлением Правления Национального банка Республики Беларусь от 21 февраля 2024 г. № 62 процентный риск банковского портфеля отнесен к числу существенных рисков и определен, как «риск возникновения у банка потерь (убытков), неполучения запланированных доходов от изменения стоимости балансовых и внебалансовых позиций, входящих в банковский портфель, вследствие изменения процентных ставок».

## I. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В сложившейся банковской практике для оценки (измерения) уровня процентного риска банковского портфеля (далее – риска) используется метод оценки на основе гэп-разрывов. Он заключается в расчете несоответствия сумм требований (активов) и обязательств (пассивов) банка по срокам их переоценки и позволяет получить сумму возможных потерь банка (неполученного процентного дохода) в ситуации негативного для банка изменения ставок. В качестве изменения ставок обычно принимается следующее их движение: «+»100 (200) б.п., «-» 100 (200) б.п. Рассчитанная таким образом сумма соотносится с размером чистого процентного дохода банка за период в 1 год и выносится суждение об уровне риска: «низкий», «ниже среднего», «выше среднего», «высокий» (рис.1).

Наименование показателя	до 30 дней	до 90 дней	до 180 дней	до 1 года	свыше 1 года	Всего
<b>АКТИВ</b>	4 258	55 956	578	5 948	23 134	89 874
<b>ПАССИВ</b>	23 257	45 874	689	3 653	283	73 756
<b>ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕНТНОГО РИСКА</b>						
<b>Процентный разрыв (GAP)</b>	- 18 999	10 082	- 111	2 295	22 852	
<b>Банк чувствителен</b>	по пассивам	по активам	по пассивам	по активам	по активам	
<b>ЧПД банка сокращается, если процентные ставки</b>	РАСТУТ	ПАДАЮТ	РАСТУТ	ПАДАЮТ	ПАДАЮТ	
<b>Сценарий изменения процентной ставки</b>						
<b>Рост ставок (одновременно по активу и пассиву)</b>	1%	прогноз изменения ставки на 1 год				
<b>Изменение ЧПД, млн руб</b>	- 182,07	84,02	- 0,70	5,74		
<b>Середина интервала, дней</b>	15	60	135	270		
<b>При увеличении процентной ставки на 1% чистый процентный доход снизится на</b>	- 93,01		млн руб.			
<b>Уровень риска с учетом отношения потерь к размеру ЧПД за 1 год</b>	низкий					

Рис. 1 – Оценка процентного риска методом GAP-разрывов

С учетом существенного влияния процентного риска на будущую прибыль банка, и, как следствие, на капитал банка, Базельский комитет по банковскому надзору (далее – Базельский комитет) в 2016 году выпустил стандарт «Процентный риск банковского портфеля» (Interest rate risk in the banking book, IRRBB, далее – Стандарт IRRBB), которым предусмотрены единообразная

методика измерения величины риска и подходы к управлению им.

Базельским комитетом процентный риск банковского портфеля определен не только как текущий риск для прибыли банка (количественная оценка изменения чистого процентного дохода – net interest income, NII), но и как потенциальный риск для капитала банка (количественная оцен-

ка изменения экономической стоимости банка – ставки: economic value of equity, EVE).

Стандарт IRRBB предусматривает расчет величины, на которую изменится чистая приведенная стоимость денежных потоков, генерируемых требованиями и обязательствами банка, в соответствии со сценариями процентного шока (параллельный сдвиг ставок вверх (вниз), сдвиг краткосрочных ставок вверх (вниз), увеличение крутизны и увеличение пологости ставок).

Для количественной оценки риска Стандартом IRRBB предусмотрен подход, основанный на группировке требований и обязательств в 19 временных корзин. При этом для каждой корзины применяется своя временная структура процентных ставок. Расчет риска основан на определении величины потенциальных потерь (выгод) в соответствии с каждым из установленных сценариев изменения процентных ставок для каждой из значительных валют. Для этого все положительные и отрицательные денежные потоки в каждой из временных корзин подвергаются взаимозачету (неттингу) и в последующем дисконтируются с использованием коэффициента  $DF(t_k)$ , значение которого рассчитывается по установленной Стандартом IRRBB формуле в зависимости от каждого определенного сценария изменения ставок, валюты, временной корзины и безрисковой

$$DF(t_k) = 1/(1 + R(t_k) * t_k)$$

, где  $R(t_k)$  – безрисковая процентная ставка (ставка дисконтирования), базовая или подвергнутая сценарию изменения, путем прибавления к ней рассчитанной величины изменения  $\Delta R(t_k)$ ;  $t_k$  – середина временной корзины  $k$ .

Полученные результаты агрегируются в рамках каждого из сценариев и определяются величины потенциальных потерь (выгод) по каждой значительной валюте: денежные потоки, формирующие экономическую стоимость банка в соответствии с текущей структурой процентных ставок (базовый сценарий) сравниваются с потоками, подвергнутыми изменению ставок в соответствии с каждым из сценариев.

Таким образом, через расчет чистой приведенной стоимости требований и обязательств, чувствительных к процентному риску, формируется оценка чувствительности экономического капитала банка к изменению процентных ставок. При этом под экономическим капиталом банка понимается разница между текущей приведенной стоимостью потока будущих доходов (выгод), стоимостью активов и текущей приведенной стоимостью потока будущих затрат, стоимостью обязательств.

Наименования показателей	Изменение денежных потоков, формирующих экономическую стоимость банка ( $\Delta EVE < 0$ ), млн ед			Размер риска изменения экономической стоимости банка ( $\Delta EVE < 0$ ), млн руб		
	BYN	USD	RUB	BYN	USD	RUB
Сценарий изменения						
Рост ставок на 2 п.п.	631	-	157	0	0	0
Снижение ставок на 2 п.п.	-232	-	128	-232	0	0
Рост ставок на 1 п.п.	424	18	659	0	0	0
Снижение ставок на 1 п.п.	-8	-17	659	0	-54,4	0
Рост ставок на 0,5 п.п.	-	10	-	-	0	-
Снижение ставок на 0,5 п.п.	-	-8	-	-	0	-
Сумма потерь от изменения процентных ставок, млн руб экв.						-276,4
Размер риска IRRBB по отношению к капиталу банка, %						0,1

Рис. 2 – Расчёт процентного риска методом IRRBB

Расчет показывает, имеет ли банк достаточный размер капитала, соизмеримый с уровнем его подверженности процентному риску IRRBB в средне- и долгосрочном периоде функционирования (рис.2).

С учетом вышесказанного в отношении двух методов оценки риска можно отметить, что:

- метод гэп-разрыва отражает потери процентных доходов за период деятельности банка, равный 1 году и возможен к использованию в текущей (краткосрочной – до 1 года) деятельности банка;
- потери, рассчитанные в соответствии со Стандартом IRRBB, показывают возможные угрозы для будущих денежных потоков,

формирующих экономическую стоимость банка на более длительных периодах: 2-3 года, 4-5 лет, 10-15 лет, 15-20 лет. Данный метод может быть использован при средне- и долгосрочном планировании деятельности банка, а также при прогнозировании будущего размера его капитала.

1. Письмо Национального банка Республики Беларусь от 28.12.2017 №23- 13/100 «О совершенствовании управления процентным риском банковского портфеля».
2. Малыгина С., Быкова О. Новые Базельские стандарты оценки процентного риска// Банкаўскі веснік. - 2017. -№11. -С.14-25.

# КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МИНИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Петрович Н. О.

Кафедра экономической информатики,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: nikita.petrovich.93@mail.ru

*В статье рассматривается проблема размещения предприятия как основной фактор успеха торговых и производственных отношений. А так же возможные методы и модели решения данных проблем, которые являются важными в процессе производства и распределения товара. Анализируется модель оптимального позиционирования предприятия на основе комплекса показателей конкуренции и стратегического размещения объекта*

## ВВЕДЕНИЕ

Методы эффективного размещения предприятия являются неотъемлемой частью механизма функционирования рыночной экономики. Многие экономисты определяли эффективность размещения производств как в равной степени важный элемент с конкуренцией, обеспечивающей функционирование рыночного механизма ценообразования и регулирующей пропорции общественного производства [1]. Так как конкуренция «отбирает» наиболее эффективных субъектов рыночной экономики, методы рационального размещения предприятий позволяют сокращать издержки на производство и распределение товаров. Выбор района размещения каждого конкретного предприятия требует технико-экономического обоснования. В большинстве случаев выбор района строительства промышленного предприятия решается на основе оптимального сочетания факторов потребления с факторами сырьевых ресурсов. В то же время в зависимости от особенностей отрасли производства вопрос может решаться по-разному: либо из этих факторов, либо, в отдельных случаях, исходя из других. В нашем случае объектом исследования является предприятие. В свою очередь предметом – методы и средства управления размещением производства, а также способы их применения на практике. Тема является актуальной, поскольку стремительно развивающиеся IT-технологии позволяют совершать покупки в любой точке планеты, а также осуществлять расчет оптимизации доставки. Различают несколько подходов к определению мест размещений предприятий. Тюнен создал теорию, названную впоследствии теорией сельскохозяйственного штандорта. Лаунхардт так же создал свою модель, в которой производится минимум один вид продукции, удельные издержки должны быть постоянными, существует только один рынок сбыта продукции, а также источники сырья и материалов. Оптимальным местом размещения будет то, где издержки на транспортировку единицы продукции будут минимальны: мини-

мальны по месту реализации и транспортировке сырья (рис. 1). Так же были представлены работы, которые более полно описывают предыдущие модели, например агломерация модели Вебера, труды Альфреда Маршалла, Советская школа и Теория территориально-производственных комплексов, Майкл Портер и кластерная теория [1, 2].

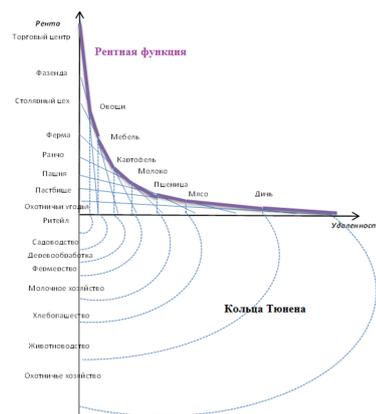


Рис. 1 – Методология размещения предприятия по Тюнену

## I. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК

Многое было изменено, при введении SCM. Управление цепочками поставок позволяет контролировать и направлять товарные, информационные, финансовые потоки непосредственно от поставщиков и производителей до складов, пунктов распределения и заказчиков в определенное время, или же точно в срок. Именно управление цепями поставок является инструментом, который обеспечивает подготовку, функционирование и закрытие коммерческих операций. Цель, задача управления цепочками (цепью) поставок – обеспечение интеграции, координации отдельных звеньев цепочки: закупок исходного сырья, материалов, компонентов, их доставки, хранения на складах в пределах производственного цикла и поставки товара до конечного потребителя [3]. Во многих крупных технологических компаниях для

оптимизации поставок товаров создаются соответствующие для этих целей структуры. Компании создают наиболее часто следующие подразделения, отделы с целью организации и контроля поставок товаров:

- order management (управление размещением заказа).
- order fulfilment management (управление выполнением заказа).
- supply management (управление поставками, закупками).
- manufacturing planning management (управление планированием производства).
- logistics management (управление логистикой) [1].

## II. ЗАДАЧА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РАЗМЕЩЕНИЯ, КАК МНОГОВАРИАНТНАЯ ЗАДАЧА

Однако, в условиях современной информатизации общества, термин SCM, который является формальным термином для управления физическим, а также информационным потоком материалов и готовой продукции в цепочке поставок, требует модернизации и усовершенствованных бизнес-процессов, обеспечиваемых по последнему слову техники и технологии. Эффективное и разумное управление поставками необходимо для обеспечения доступности нужного продукта в нужное время и в нужном месте по подходящей цене [1]. Именно блокчейн, способный отслеживать работу сотен участников производства и цепочки поставки-распределения товаров, позволит максимально оперативно осуществлять контроль за доставкой. Централизованная система позволит использовать результаты контроля одних показателей, для контроля или прогнозирования качественно новых показателей. Метод центра тяжести (центр гравитации), обычно, используется в операционном менеджменте для определения места размещения участков торговли или, в большинстве случаев, для определения пунктов стратегического позиционирования оптовых складов. В отличие от транспортного метода, метод центра тяжести учитывает не только расстояние и транспортные затраты для доставки грузов, а также берет в расчет объемы перевозимого груза. Данный показатель в современных рыночных отношениях принимает все большую роль. В свою очередь предложенный метод основывается на предположении, что расстояние и объемы грузов прямо пропорциональны затратам на транспортировку товара. Задача выбора оптимального варианта размещения, как многовариантная задача, наиболее успешно может быть решена методами линейного и динамического математического

программирования с применением ЭВМ. Указанные методы основаны на нахождении минимума и максимума (экстремума) целевой функции при соответствующих ограничениях. При выборе варианта размещения целевой функцией является достижение минимума приведенных затрат. Ограничениями будут: размер потребности в продукции, объем производства, ресурсы сырья, материалов и топлива, размер капитальных вложений.

Нахождение оптимальных координат  $x_0, y_0$  осуществляется с помощью итерационного сходящегося алгоритма. Количество итераций определяется требованиями к степени точности получаемого решения. Данный вид модели затрагивает ключевые аспекты современной логистики, которая приобрела совершенно новый качественный уровень в современном мире. С учетом повсеместной интеграции информационных технологий роль моделей управления цепями поставок существенно возросла. Зарождение класса моделей относится, как было указано ранее, к 1909 г., когда А. Вебер сформулировал задачу о размещении завода с учетом объемов поставок сырья и материалов от поставщиков и объемов отгрузок готовой продукции клиентам. В качестве критерия оптимизации был взят минимум совокупных транспортных затрат предприятия (целевая функция минимальной суммы)[1, 2, 3]. Для решения задачи по размещению одного завода (которая может быть успешно применена и для распределительного центра) была предложена итеративная процедура последовательного вычисления новых координат расположения завода, оканчивающаяся тогда, когда дополнительное сокращение транспортных затрат переставало быть практически значимым.

1. Петрович, Н. О. Современные информационные технологии как главный аспект в создании эффективной модели размещения производственных предприятий / Н. О. Петрович, В. Н. Комличенко // Международный научно-практический электронный журнал «Экономика и качество систем связи» – Москва, Российская Федерация: Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий, Российская академия естественных наук – 2019. – стр. 27, № 1(11).
2. Петрович, Н. О. Концепция создания модели оптимального позиционирования предприятия на современном уровне информатизации общества / Н. О. Петрович, В. Н. Комличенко // Современные проблемы анализа динамических систем. Приложения в технике и технологиях: материалы IV междунар. конф., Воронеж, Фед. гос. бюджет. образоват. уч-е «ВГЛУ»; редкол.: М.В. Драпалюк (гл. ред.) [и др.] – 2020. – стр. 31, № 3.
3. Петрович, Н. О. Роль информационных технологий в создании новой модели размещения предприятия / Н. О. Петрович, В. Н. Комличенко // Проблемы экономической информатики: материалы 55-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, Респ. Беларусь, – 2019. – стр. 15, № 5.

# ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

Снопок Л. А., Комличенко В. Н.  
Кафедра экономической информатики,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: snopok.lika081, v.komlitchenko@gmail.com

*Рассмотрены возможности применения искусственного интеллекта в деятельности человека, в частности, в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, образовании, дорожном движении. Исследованы наиболее перспективные пути для его дальнейшего развития в Республике Беларусь, приведены описания проектов, находящихся в стадии разработки, проанализированы основные препятствия, с которыми можно столкнуться в процессе.*

Цифровая трансформация экономики является важнейшей составляющей формирования информационного общества и одним из главных направлений развития Республики Беларусь, в результате которого в ближайшие десятилетия все отрасли, рынки, сферы жизнедеятельности государства должны быть переориентированы на новые цифровые экономические модели. Для решения этой задачи в стране развиваются инновационные цифровые технологии, основанные на системах искусственного интеллекта, нейронных сетей, обеспечивающие работу с разнообразными информационными ресурсами, в том числе массивами больших данных, методах распределенных вычислений (облачные технологии) [1].

Основной целью данной работы ставится изучение дальнейших перспектив развития искусственного интеллекта в Республике Беларусь. Для достижения обозначенной цели необходимо определить в каких сферах деятельности человека в настоящее время уже используется искусственный интеллект, выявить сильные и слабые стороны его применения. Следует изучить новые разработки и открытия в данном направлении в мире, проанализировать возможности их внедрения. Кроме этого, ознакомиться с мнениями различных экспертов, проводивших подобные исследования.

В последние годы искусственный интеллект активно развивается и внедряется в различные сферы деятельности человека. Эффективность применения ИИ растет благодаря постоянному увеличению объема памяти и укреплению внутренних связей нейросети.

К числу наиболее популярных сфер применения можно отнести промышленность. Использование ИИ в данной области позволяет заменить ручной труд автоматизированным, что в свою очередь ведет к значительному сокращению временных, а также денежных затрат. На промышленных предприятиях Республики Беларусь искусственный интеллект используется для следующих целей:

- применение цифровых двойников при проектировании деталей, механизмов, процессов;

- роботизация складского, логистического хозяйства;
- автоматизация сборочного производства;
- выполнение транспортно-погрузочных и сварочно-покрасочных задач [2, 3].

Роботизация и применение систем ИИ в промышленности позволила оптимизировать многие процессы, сократить сроки выполнения работ, исключить необходимость присутствия человека на вредных производствах, сократить уровень травматизма.

Другой не менее важной отраслью является сельское хозяйство, где в настоящее время проводится автоматизация множества процессов. Искусственный интеллект помогает сделать работу здесь более выгодной с экономической точки зрения – это достигается за счет повышения урожайности и снижения ресурсных затрат [4]. Системы искусственного интеллекта успешно выполняют следующие задачи:

- собирают сведения о сельскохозяйственных культурах на полях;
- выявляют сектора с заболеваниями растений, поврежденные насекомыми;
- обнаруживают области с замедленным ростом или с недостаточным количеством питательных веществ и удобрений;
- используются для отслеживания параметров состояния окружающей среды: температуры воздуха, влажности, скорости и направления ветров и т. д.

Основываясь на полученных данных такие системы способны предлагать решения по устранению возникающих проблем, составлять прогнозы и отслеживать динамику по урожайности. Несмотря на явные преимущества использования систем ИИ в сельском хозяйстве в Республике Беларусь, нельзя сказать, что они получили широкое распространение – лишь 10% пахотных земель обрабатываются с их применением. Существует ряд факторов, которые осложняют процесс внедрения новых технологий, например, консервативность аграрной сферы, неплатежеспособность хозяйств и дефицит подготовленных кадров [5].

Что касается здравоохранения, то внедрение систем на базе ИИ сегодня один из ключевых трендов как в целом мире, так и в Республике Беларусь. При этом белорусские ученые уже немало достигли в данном направлении более того набор оборудования, что имеется, предполагает обязательное наличие интеллектуальной составляющей. Искусственный интеллект в медицине имеет особое значение: его применение значительно облегчает деятельность врачей и служит на благо пациента. Основные направления, по которым осуществляется внедрение ИИ:

- анализ медицинских изображений;
- цифровая диагностика с использованием технологий компьютерного зрения;
- доврачебная диагностика и программная аналитика для профилактики и лечения заболеваний;
- автоматизация проведения клинических исследований и сбора данных [6].

Образование в стране также является перспективным направлением для внедрения ИИ – ставятся задачи развития адаптивного обучения и прокторинга. С помощью систем искусственного интеллекта планируется автоматизировать работу по выстраиванию эффективных учебных программ и подбору учебного материала для студентов, отслеживать их успеваемость. Применение таких систем должно позволить облегчить процесс усвоения материала всем группам учащихся. Что касается функции прокторинга, то здесь планируется использовать искусственный интеллект для отслеживания поведения студентов во время проведения экзаменов и тестов: присутствуют ли лишние голоса в помещении, как часто студент отводит взгляд от монитора, сменят ли вкладку в браузере. В большей степени к применению таких систем на сегодняшний день подготовлены школы и университеты.

Сферы применения искусственного интеллекта в обществе становятся все шире и разнообразнее. Кроме тех, что были рассмотрены можно также добавить финансовую сферу, продажи, развлечения, охрана и безопасность. Системы на базе искусственного интеллекта, несомненно, имеют большое количество преимуществ: отсутствие человеческого фактора; отсутствие человеческого фактора; нулевые риски; круглосуточная доступность; точность и скорость в обработке данных. Однако, как и везде присутствуют и некоторые недостатки: разработки, связанные с ИИ, могут быть дорогостоящими; недостаток творчества; отсутствие морали.

Наука об искусственном интеллекте во многом опирается на достижения в других направлениях, например, вычислительной технике и работе с данными. В настоящее время исследования в сфере искусственного интеллекта в основном ведутся по ряду направлений: работа с естествен-

ным языком, инженерия знаний, биологическое моделирование, машинное творчество.

Что касается конкретно Беларуси, то большее внимание уделяется исследованиям в направлении машинного обучения, обработке естественного языка, компьютерного зрения. Разработки ведутся для таких сфер, как промышленность, финансы, медицина, транспорт, строительство, сельское хозяйство, экология и туризм. Проводятся различные хакатоны и международные форумы, выставки и конференции. Самые известные компании, занятые разработкой в этой сфере это – MSQRD, AIMatter, Viber и EPAM. С целью объединения усилий специалистов в области информационных, медицинских, биологических, технических и физико-математических наук, а также частных инвестиций для создания передовых и конкурентоспособных технологий искусственного интеллекта в 2015 году был создан Межведомственный исследовательский центр искусственного интеллекта.

Технология искусственного интеллекта несмотря на стремительное развитие все еще далека от совершенства и пока используются лишь ее отдельные элементы для решения рутинных задач. Тем не менее сфера продолжает активно развиваться и с целью поддержания конкурентоспособности и повышения эффективности предприятия и организации во всех отраслях увеличивают свои инвестиции в данные разработки. Стратегия развития Республики Беларусь до 2040 года предполагает усиление практической направленности не только в области IT-технологий, но и новейшие разработки в области искусственного интеллекта.

1. О концепции информационной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Постановление Совета Безопасности Республики Беларусь 18 марта 2019 г. № 1 // Консультант Плюс: Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
2. И в промышленности, и в общении: в НАН рассказали о перспективах технологий с искусственным интеллектом [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.sb.by/articles/algorithm-eshche-skazhet-svoe-slovo.html>
3. Герасюто, С. Л. Перспективы развития робототехники в Республике Беларусь / С. Л. Герасюто, Г. А. Прокопович, В. А. Сычѳ // Электроника Инфо. – 2014. – № 6 (108). – С. 25–26.
4. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве. Описание сервисов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://polymya-agro.by/news/primeneniye-iskusstvennogo-intellekta-v-selskom-khozyaystve/>.
5. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве. Описание сервисов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://polymya-agro.by/news/primeneniye-iskusstvennogo-intellekta-v-selskom-khozyaystve/>.
6. Что тормозит оцифровку сельского хозяйства в Беларуси | Белорусский продовольственный торгово-промышленный портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://produkt.by/news/chto-tormozit-ocifrovku-selskogo-hozyaystva-v-belarusi/>.

# EVALUATION OF THE QUALITY OF DISTANCE EDUCATION: METHODS AND APPROACHES

Mosendz A. V.

Department of Economic Informatics,  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: MosendzAV@yandex.by

*The work analyzes methods for assessing the quality of distance education and the key factors that influence it. Methods such as surveys, performance analysis, and accreditation are examined. Factors including infrastructure, instructor preparation, and student motivation are highlighted. Recommendations for improving distance education are proposed, including course updates and involving students in quality assessment.*

## INTRODUCTION

Distance education (DE) has become a significant tool in the education system, particularly in recent years. With its expansion, the necessity for evaluating the quality of educational services has emerged. The objective of this paper is to analyze the primary methods and approaches for assessing the quality of distance education, as well as to highlight the key factors that influence this evaluation. In the context of globalization and rapid technological advancement, the evaluation of DE quality becomes not only relevant but also essential for ensuring the competitiveness of educational institutions.

### I. CONCEPT OF QUALITY IN DISTANCE EDUCATION

The quality of distance education can be defined as the degree to which the educational process aligns with established standards, student expectations, and labor market requirements. Quality assessment encompasses various aspects, including course content, which must be relevant and comprehensive, conforming to contemporary standards. The effectiveness of teaching methods—utilizing technologies and methodologies that incorporate interactive elements such as forums, video lectures, and assessments—also plays a crucial role. Student support, including the availability of consultations and assistance from instructors, as well as access to additional self-study resources, is vital. Additionally, learning outcomes, which reflect the level of achievement of educational goals by students, including both academic success and the development of practical skills, are fundamental components of quality.

### II. METHODS FOR EVALUATING THE QUALITY OF DISTANCE EDUCATION

1. Surveys of Students: One of the most common methods is surveying students and instructors. Surveys can be both quantitative and qualitative, enabling the collection of data regarding the opinions and satisfaction levels of participants in the educational process [2]. Advantages include ease of data collection and the potential for obtaining feedback from a large number of participants, with anonymity promoting more honest and candid responses. However, disadvantages include potential biases in responses, as students may seek to provide "correct" answers, and limitations in the depth of analysis due to the time required for processing open-ended questions;
2. Performance Analysis: Evaluating student performance—through test results, exams, and other forms of assessment—allows for judgments regarding the quality of education. It is essential to consider not only average grades but also performance trends [3]. Advantages include objectivity and the availability of quantitative data that can be easily analyzed and compared, as well as the ability to identify problematic areas and students requiring additional support. However, this method may not always reflect the depth of material comprehension and can be influenced by the complexity of assignments, while varying assessment formats may complicate result comparability;
3. Observation of the Learning Process: Observing classes and the interactions between students and instructors provides qualitative data about the learning process. This can include direct observation and video recordings [3]. It allows for a detailed examination of interactions and the identification of strengths and weaknesses in the educational process, as well as the possibility of analyzing non-verbal communications and the overall atmosphere within the group. However, this method involves significant time investment and labor-intensive data analysis, as well as the potential for subjective researcher perceptions to influence conclusions;
4. Professional Accreditation: Accreditation of educational programs by independent organizations can serve as an indicator of quality. The accreditation process involves evaluating course content, teaching methodologies, and learning outcomes [3].

Positive aspects include objective assessments that align with international standards and increased trust from students and employers towards accredited programs. However, high accreditation costs and the lengthy nature of the process, along with potential bureaucratic challenges, can be drawbacks;

5. **Analysis of Feedback and Recommendations:** The collection and analysis of feedback from students, graduates, and employers can also be an important method for assessing the quality of DE. This can encompass both formal and informal feedback [1]. The advantages include direct access to information regarding students' real experiences and impressions of their education, as well as the opportunity to identify long-term educational outcomes such as employment. Disadvantages include the complexity of quantitatively analyzing informal feedback and the risk of obtaining distorted information due to sampling limitations.

### III. KEY FACTORS INFLUENCING THE QUALITY OF DISTANCE EDUCATION

1. **Technological Infrastructure:** Access to modern educational platforms and tools, such as Learning Management Systems (LMS), provides convenience and effectiveness in the educational process. The quality of internet connectivity and the availability of necessary devices also play a significant role [2];
2. **Instructor Preparation:** The competencies and experience of instructors in the field of distance education are critically important. Instructors must be prepared to utilize modern technologies and develop interactive and engaging courses [3];
3. **Student Motivation:** The readiness and ability of students to self-organize and maintain self-discipline affect learning outcomes. It is important to implement strategies that foster motivation, such as rewards for achievements and the creation of a competitive atmosphere [1];
4. **Support and Feedback:** The presence of support systems, mentorship opportunities, and the ability to receive feedback from instructors and mentors facilitate deeper material comprehension. Regular consultations and discussions assist students not only in

addressing current issues but also in developing critical thinking skills [2];

5. **Course Adaptation to Student Needs:** Individualizing the educational process and allowing for choices in topics and formats enhances student engagement and better meets their needs [3].

### IV. CONCLUSION

The evaluation of the quality of distance education is a multifaceted process that requires the application of various methods and approaches. It is essential to consider both quantitative and qualitative aspects to obtain a comprehensive understanding of the state of the educational process. Given the rapidly changing technologies and student needs, the continuous improvement of quality assessment methods will be a key factor for the successful implementation of distance education in the future.

**Recommendations for Organizing Distance Education:**

- educational institutions should periodically review and update course content to ensure alignment with contemporary requirements and trends;
- investments in training and professional development for instructors can significantly enhance the quality of distance education;
- involving students in the quality assessment and feedback processes can contribute to improving the educational experience and increasing satisfaction.

### V. REFERENCES

1. Moore, M. G. *Distance Education: A Systems View of Online Learning* / M. G. Moore, G. Kearsley // Cengage Learning, 2011. – 38 p.
2. Garrison, D. R. *E-Learning in the 21st Century: A Community of Inquiry Framework for Online Learning* / D. R. Garrison // Routledge, 2003. – 184 p.
3. *Quality Assurance Agency for Higher Education // UK Quality Code for Higher Education*, 2018. – 17 p.
4. Allen, I. E. *Digital Learning Compass: Distance Education Enrollment Report 2017* / I. E. Allen, J. Seaman // Babson Survey Research Group, 2017. – 39 p.
5. Bates, A. W. *Teaching in a Digital Age: Guidelines for Designing Teaching and Learning* / A. W. Bates // Tony Bates Associates Ltd, 2019.
6. Chickering, A. W. *Seven Principles for Good Practice in Undergraduate Education* / A. W. Chickering, Z. F. Gamson // AAHE Bulletin, 1987. – 33 p.

# SOFTWARE SUPPORT OF SOME PROCESSES OF DEVELOPMENT OF MOBILE INTERACTIVE ADS

Ulyana Volodzina, Iosif Vojtshenko

MRAID Development LLC, Minsk, Belarus

Faculty of Applied Mathematics and Computer Science, Belarusian State University

E-mail: [ulyanavalodzina@gmail.com](mailto:ulyanavalodzina@gmail.com), [voit@bsu.by](mailto:voit@bsu.by)

*Developing mobile interactive advertising in a game format involves several labor-intensive processes. One such process is uploading the necessary images from a psd file. This file is typically provided by designers or directly by the customer. The purpose of uploading these images is to prepare them for the subsequent layout of the advertising application's screens. To speed up the process of developing interactive advertisements, a psd-parser was selected, tested and integrated into the workflow; an application that uses the psd-parser to generate images from layers of psd-files and create pixi containers based on them was designed and implemented.*

## INTRODUCTION

The advertising services market has long since become a separate segment of the economy with significant volumes and high growth rates. According to some estimates, the global digital advertising market will reach 1.2 trillion USD by 2027. The production and display of advertising is actively supported by software and information and communication technologies, from graphic editors to artificial intelligence [1,2].

Mobile advertising has a number of features compared to advertising on other platforms: a limited screen; high density of content within a short time; the need and possibility of fine-tuning to the target audience; geolocation (user location) capabilities; a variety of formats (banners, videos, interactive ads, etc.); a variety of distribution channels (mobile applications, mobile sites, social networks and messengers).

Mobile interactive advertising in game format (playable ads) is a mini-game that demonstrates the basic functions of the game. The duration of the user's interaction with such ads is designed for 15-60 seconds on average.

Interactive advertising in game format is a productive way to attract customers.

## I. MRAID STANDARD AND DASHBOARD.MRAID.IO PLATFORM

The MRAID (Mobile Rich Media Ad Interface Definitions) standard provides a standardized interface between ads and mobile applications, which simplifies the process of creating, placing and measuring ad campaigns on mobile devices [3].

The interface defined by the MRAID standard includes the following main elements: an ad container; the MRAID API; a set of methods for handling user gestures; MRAID extensions; mechanisms for controlling access to data collected in an ad; and requirements for media content elements to be compatible with mobile devices and applications.

[Dashboard.mraid.io](https://www.mraid.io) is a platform for developing interactive mobile ads that allows the

creation of ads that can interact with the user, such as banner ads, drop-down ads, promotional videos, etc. [4]. The platform is developed by [Mraid.io](https://mraid.io) and supports the MRAID standard.

## II. PECULIARITIES AND DEVELOPMENT PROCESS OF INTERACTIVE MOBILE ADVERTISING

The peculiarities of the development of such advertising lies in several factors.

First, the advertising application should be quite "lightweight", no more than 2-5 megabytes, taking into account images, audio and possibly video materials. This severely limits the developer, forcing him to increase image compression, crop audio files, reduce the frame rate in video, etc.

Second, the advertising customer usually needs multiple versions of the advertising application to upload them to different ad networks, and each may have different requirements for the files to be uploaded.

Third, advertising products must be developed in the shortest possible time. The usual limit is no more than a week (five working days).

The process of developing interactive mobile advertising may involve several steps.

1. Defining goals and objectives, identifying the target audience, and conceptualizing the advertisement. At this stage, the advertiser usually works with an agency or design team to determine the overall direction and style of the advertisement. .
2. Creating the layout of the advertisement in a graphics editor such as Adobe Photoshop or Adobe Illustrator. The layout may contain images, text, buttons, and other elements of interactivity.
3. Developing code using HTML, CSS, JavaScript or other programming languages.
4. Testing on a variety of mobile devices and browsers, including using MRAID Validator.
5. Uploading to the ad network. Advertiser can select various ad display parameters such as targeting, budget and display period.

One of the labor-intensive development processes is uploading the necessary images from

a psd-file provided by designers or directly by the customer, for the purpose of subsequent layout of the screens of the advertising application. Practice shows that the developer spends up to a third of his time on this. The sequence of his actions is as follows: uploading individual layers with the help of Adobe Photoshop in .png image format, renaming all images in the same style accepted in the company, creating pixi containers [5], which contain the following information: the name of the container (unique), the name of the image, the position on the screen relative to the center - all this information already initially contains a PSD file. These actions can be performed by a software application. By automating the development process, we can minimize the human factor in development, get rid of typos, and significantly speed up the development process.

The application was developed for integration into the dashboard.mraid.io platform.

The central stage of automated layout is parsing (analyzing the syntactic structure) of psd-images.

The most famous is the parser of psd-files by Adobe [6]. However, it does not create layout in the format used in interactive advertising. In addition, its integration into the dashboard.mraid.io platform would be difficult.

Since the Dashboard.mraid.io platform is developed using node.js and its visual part using the vue.js framework, we turned our attention to one of the parsers whose program code is posted on github.com. It is written in JavaScript and consists of several classes, the main ones being PSD and Image classes. The parsing scheme is shown in the Figure.

The functionality of this parser turned out to be easy to integrate with the capabilities of the open source library for working with 2D graphics in the browser Pixi.js [5].

The integration of the psd-parser and the pixi.js programmatic library for their joint use in ad layout within the Dashboard.mraid.io platform has a number of features.

1. When transferring layout from psd layout to Pixi.js containers, it is necessary to take into account the differences in coordinate systems. In psd format, layer coordinates are set relative to the upper left corner of the image, while in Pixi.js it is customary to use the center point of the container as the initial coordinate point.
2. The layer order in Pixi.js will be reflected in reverse order compared to the layer order in the psd layout. This is because in psd format, layers are arranged from top to bottom, while in Pixi.js, containers are created in the order listed in the code.

To flip the layer tree from psd format to Pixi.js format, the psd layers were traversed in depth, starting from the root layer.

3. Photoshop allows you to create layers with the same name in the same document. This is possible because in a psd file, layers and layer groups are identified not only by name, but also by other properties such as layer IDs and nesting level. Thus, even if there are layers with the same names in the document, they will still be correctly identified.

However, in Pixi.js, containers and objects are identified only by their name. Therefore, layer names had to be checked to see if they matched those already extracted and converted if necessary.

With these features in mind, an application was designed and implemented that uses psd-parser to generate images from layers and create pixi containers. This application was integrated into dashboard.mraid.io by adding new containers and handlers to the vue.js project that call the necessary methods.

### III. CONCLUSION

To speed up the process of developing interactive advertisements, a psd-parser was selected, tested and integrated into the development workflow. An application was designed and implemented that uses psd-parser to generate images from psd-file layers and create pixi containers based on them. This application was integrated into dashboard.mraid.io by adding new containers and handlers to the vue.js project that call the necessary methods. By doing so, the time spent in the image processing and layout creation phases was significantly reduced.

1. Yogesh K. Dwivedi. Setting the future of digital and social media marketing research: Perspectives and research propositions / Yogesh K. Dwivedi, Elvira Ismagilova, D. Laurie Hughes at el. // International Journal of Information Management, Volume 59, 2021, 102168. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102168>.
2. Biao Gao. Artificial Intelligence in Advertising: Advancements, Challenges, and Ethical Considerations in Targeting, Personalization, Content Creation, and Ad Optimization / Biao Gao, Yiming Wang, Huiqin Xie, Yi Hu, Yi Hu // SAGE Open. October-December 2023: 1-20. doi/10.1177/21582440231210759
3. Mobile Rich Media Ad Interface Definition (MRAID) Version 3.0 [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.iab.com/wp-content/uploads/2017/07/MRAID\\_3.0\\_FINAL.pdf](https://www.iab.com/wp-content/uploads/2017/07/MRAID_3.0_FINAL.pdf). – Date of access: 25.09.2024
4. Dashboard Mraid.io [Electronic resource]. – Mode of access: <https://mraid.io/#dashboard>. – Date of access: 25.09.2024.
5. PixiJS Documentation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://pixijs.download/dev/docs/index.html>. – Date of access: 25.09.2024.
6. .PSDParser [Electronic resource]. – Mode of access: <https://developer.adobe.com/experience-manager/reference-materials/6-5/javadoc/org/apache/tika/parser/image/PSDParser.html>. – Date of access: 25.03.2024.

# Содержание

<b>Пленарные доклады</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>Шалькевич П. К.</b> Мониторинг параметров загрязняющих окружающую среду веществ и прогнозирование их значений с применением геоинформационных систем . . . . .	<b>9</b>
<b>Горячко А. Д.</b> Применение и развитие интеграционных технологий в области разработки систем управления в сфере энергетики на основе CIM моделей сетей . . . . .	<b>11</b>
<b>Секция «Системы управления»</b> . . . . .	<b>13</b>
<b>Алуев Е. А.</b> Создание агентной модели выездного обслуживания ветрогенераторов . . . . .	<b>15</b>
<b>Гурская Я. С., Марков А. В.</b> Применение беспроводных технологий передачи данных в управлении промышленными роботами . . . . .	<b>17</b>
<b>Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Арпентий Д. О.</b> Подавление помех в системе с обратной связью . . . . .	<b>19</b>
<b>Захарьев В. А., Криценович В. А., Ходжиметов Э.</b> Система верификации диктора на основе векторного представления голоса . . . . .	<b>21</b>
<b>Кожевников М. М., Чумаков О. А., Илюшин И. Э.</b> Автономное программирование систем управления сборочно-сварочными роботами-манипуляторами при наличии ограничений . . . . .	<b>23</b>
<b>Лавров А. А., Лупин А. В., Малышев И. А., Кузнецов К. С.</b> Разработка и анализ характеристик прототипа инерциальной навигационной системы на основе микроконтроллера CH32V307 . . . . .	<b>25</b>
<b>Ломонос Г. В., Захарьев В. А.</b> Гибридная система фильтрации спам сообщений на основе моделей машинного обучения . . . . .	<b>27</b>
<b>Радкевич А. А., Павлюковец С. А.</b> Анализ голономного движения мобильного механум-робота при управлении с непрерывно изменяющимся курсом траектории . . . . .	<b>29</b>
<b>Сидоров Д.</b> Применение пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции в автономных инверторах напряжения . . . . .	<b>31</b>

<b>Соколович М. Г., Аксёненко М. А. Захарьев В. А.</b> Системы предиктивного обслуживания технологического оборудования на основе методов искусственного интеллекта . . . . .	<b>32</b>
<b>Стещенко П. П., Свито И. Л., Журавлёв В. И.</b> Электротранспорт: анализ проблем эксплуатации и пути его развития . . . . .	<b>34</b>
<b>Хаджинов М. К., Павлова А. В., Стасевич Н. А.</b> Сервопривод в инерциальной системе координат с модальными регуляторами и квадратичной обратной связью по скорости . . . . .	<b>36</b>
<b>Черемисинов Д. И., Черемисинова Л. Д.</b> Моделирование систем управления с параллелизмом поведения на уровне транзакций . . . . .	<b>37</b>
<b>German J. O., German O. V., Semizhon E. A.</b> On the Problem of Inconsistency in Many-Valued Logics . . . . .	<b>39</b>
<b>Секция «Интеллектуальные информационные технологии»</b>	<b>41</b>
<b>Дин Аоди, Недзведь А. М.</b> Выявление заболеваний на основе анализа походки . . . . .	<b>43</b>
<b>Банкевич Я. Д., Рублевская Е. А., Сергиевич Д. П.</b> Нейронные сети как передовой инструмент в социальных сетях . . . . .	<b>45</b>
<b>Батура М. П., Кулевич А. О.</b> Архитектурное решение построения RAG-системы анализа данных с использованием библиотеки LangChain и графовой базы данных NEO4J . . . . .	<b>47</b>
<b>Гесман Н. Ю., Остров М. А.</b> Особенности пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем . . . . .	<b>49</b>
<b>Дроздовская П. К., Сиколенко М. А., Качук И. А., Мозоль Н. Р., Лутковский В. М.</b> Использование нейронных сетей для прогнозирования временных рядов . . . . .	<b>51</b>
<b>Ивашенко В. П.</b> Метрика, топология и персистентность в смысловом пространстве . . . . .	<b>53</b>
<b>Ивашенко В. П.</b> Принципы моделирования логико-семантического анализа естественного языка . . . . .	<b>55</b>
<b>Каркоцкий А. Г.</b> Распознавание объектов в условиях низкой освещенности . . . . .	<b>57</b>
<b>Никифоров С. А., Садовский М. Е.</b> Подход к интеграции информационных RDF-моделей с семантическими моделями OSTIS-систем . . . . .	<b>59</b>

<b>Палто Е. С.</b> Телеграм-бот с искусственным интеллектом “Цифровой помощник БрГТУ” . . . . .	<b>61</b>
<b>Петрочук К. Д., Гракова Н. В.</b> Применение базовых спецификаций различных сущностей для структуризации баз знаний	<b>63</b>
<b>Сальников Д. А.</b> Представление медицинских знаний в интеллектуальных системах . . . . .	<b>65</b>
<b>Сальников Д. А., Крищенович В. А.</b> Биометрические показатели в интеллектуальных медицинских системах . . . . .	<b>67</b>
<b>Сарнацкий Д. Д., Яцков Н. Н., Гринев В. В.</b> Исследование информативности признаков нуклеотидных сайтов при определении генетических полиморфизмов с использованием методов машинного обучения . . . . .	<b>69</b>
<b>Труханович А. Д., Чалей А. А.</b> Интеллектуальная обучающая система по математике «ФРИДМАН» . . . . .	<b>71</b>
<b>Щерба А. П., Нестеренков С. Н.</b> Алгоритмы прогнозирования стоимости автомобилей с использованием методов машинного обучения . . . . .	<b>73</b>
<b>Gao YuHang, Guo Hanasi</b> Feature-Enhanced Small-Target Detection . . . . .	<b>75</b>
<b>Секция «Проектирование встраиваемых систем» . . . . .</b>	<b>77</b>
<b>Бибило П. Н., Кириенко Н. А.</b> Базовые алгоритмы для оптимизации функциональных описаний комбинационных схем путем выделения связанных подсистем булевых функций . . . . .	<b>79</b>
<b>Бурко Л. А., Иванюк А. А.</b> Исследование поведения кольцевого осциллятора . . . . .	<b>81</b>
<b>Деменковец Д. В., Леванцевич В. А.</b> Оценка эффективности управляемых тестов памяти с заданным расстоянием Хэмминга . . . . .	<b>83</b>
<b>Кривальцевич Е. А., Вашкевич М. И.</b> FPGA реализация нейронной сети прямого распространения для распознавания рукописных чисел . . . . .	<b>85</b>
<b>Леванцевич В. А., Деменковец Д. В.</b> Алгоритм формирования управляемых вероятностных тестов с заданным расстоянием Хэмминга . . . . .	<b>87</b>
<b>Логинова И. П.</b> Визуализация трассы параллельной программы в системе проектирования . . . . .	<b>89</b>

<b>Малявко Н. В., Иванюк А. А.</b> Алгоритмы параметрического моделирования физически неклонированных функций . . . . .	<b>91</b>
<b>Петровский Д. А., Иванюк А. А.</b> Анализ характеристик схемы постобработки последовательности случайных чисел на основе многоканального сигнатурного анализатора . . . . .	<b>93</b>
<b>Трубач К. И., Иванюк А. А.</b> Исследование точности измерения периода конфигурируемого кольцевого осциллятора . . . . .	<b>95</b>
<b>Черемисинова Л. Д., Черемисинов Д. И.</b> Построение библиотеки элементов при обратном проектировании КМОП СВИС . . . . .	<b>97</b>
<b>Шамына А. Ю., Иванюк А. А.</b> Проблема реализации симметричных путей физически неклонированных функций типа арбитр на программируемых логических интегральных схемах . . . . .	<b>99</b>
<b>Секция «Математическое моделирование и компьютерная графика»</b> . . . . .	<b>101</b>
<b>Гуревич О. В., Шатилова О. О., Кукин Д. П., Хмыз Д. Д.</b> Сегментация пользователей в играх на основе RFM-анализа . . . . .	<b>103</b>
<b>Журавлёв В. И., Наумович Н. М., Стежко И. К., Колбун В. С.</b> Моделирование активного охлаждения переключателей мощности приёмопередающих модулей . . . . .	<b>105</b>
<b>Журавлёв В. И., Петровский И. И., Свито И. Л., Стешенко П. П.</b> Тепловой Импеданс В Сетевой Модели Разогрева Компонентов Силовых Преобразователей . . . . .	<b>107</b>
<b>Коломиец В. В., Свинарский М. В., Чжо Ту</b> Оценка эффективности дерева решений в задаче распознавания воздушных объектов по их траекторным признакам . . . . .	<b>109</b>
<b>Е Куанг Мьят</b> Обзор методов измерения эффективной площади рассеяния . . . . .	<b>111</b>
<b>Радченко А. Д.</b> Цифровое пиратство игр: причины, последствия и способы борьбы . . . . .	<b>113</b>
<b>Рязанцев Д. Д., Рязанцев Н. Д.</b> Особенности применения алгоритмов графового поиска путей в разработке трехмерных игровых миров . . . . .	<b>115</b>
<b>Сакун И. Ю., Красковский П. Н.</b> Метод быстрого отсека, используемый в отложенном затенении с применением буфера видимости . . . . .	<b>119</b>

<b>Славинский Г. А., Нестеренков С. Н.</b> Практическое применение теории массового обслуживания на примере приемной комиссии ССУЗ . . . . .	<b>121</b>
<b>Таранчук В. Б., Баровик Д. В.</b> Инструменты и примеры компьютерного анализа и визуализации динамики лесных пожаров . . . . .	<b>123</b>
<b>Цегельник В. В.</b> Аналитические свойства решений двух семейств трехмерных консервативных динамических пятиэлементных систем с одной квадратичной нелинейностью . . . . .	<b>125</b>
<b>Храменков А. С., Чигряй В. Г.</b> Использование эффективной отражающей поверхности в интересах распознавания малораз- мерных беспилотных летательных аппаратов и птиц . . . . .	<b>127</b>
<b>Храменков А. С., Чигряй В. Г.</b> Радиолокационные признаки селекции малоразмерных беспилотных летательных аппаратов и птиц . . . . .	<b>129</b>
<b>Шилин Л. Ю., Кукин Д. П., Шатилова О. О., Хмыз Д. Д.</b> Отдельные аспекты разработки высокочастотных генераторов . . . . .	<b>131</b>
<b>Pilipchuk L. A., Romanovsky Y. V., Hurinovich V. V.</b> About Multiflow Decomposition Methods in Fractional Linear Programming Problems . . . . .	<b>133</b>
<b>Ramanouski Y. V., Pilipchuk L. A., Biarozka I. S.</b> About Suboptimal Solutions to the Problem of Identifying of Special Programmable Devices (Sensors) and Flows Control . . . . .	<b>135</b>
<b>Секция «Автоматизированные системы обработки инфор- мации» . . . . .</b>	<b>137</b>
<b>Александров Н. А., Нестеренков С. Н.</b> Алгоритмы анализа пользовательских предпочтений и генерации рекомендаций с использо- ванием методов машинного обучения . . . . .	<b>139</b>
<b>Баран И. В., Нестеренков С. Н.</b> Алгоритмы анализа тональности текста . . . . .	<b>141</b>
<b>Баяк Е. И., Быстрова В. А., Нестеренков С. Н.</b> Автоматизация ответов службы технической поддержки с использованием нейронных сетей на примере учреждения высшего образования . . . . .	<b>143</b>
<b>Белаш В. А., Плаксин М. А., Сохранных С. А.</b> Применение методики «Тест-пойнты» в процессе тестирования программных продуктов . . . . .	<b>145</b>

<b>Бранцевич П. Ю., Леванцевич В. А., Кулик А. В.</b> Анализ вибрационных сигналов методом разложения на периодическую и шумоподобную составляющие . . . . .	<b>147</b>
<b>Быстрова В. А., Войтешенко И. С.</b> Эмулирование и исследование функционирования видеохостинга в пиринговых сетях . . . . .	<b>149</b>
<b>Глушаченко Н. С., Деменковец Д. В., Аносов В. С.</b> Программно-аппаратный комплекс для сбора и визуализации данных при исследовании координации у детей . . . . .	<b>151</b>
<b>Земляник Р. В.</b> Эффективность использования искусственного интеллекта в социальных экспериментах . . . . .	<b>153</b>
<b>Евдокимов В. Г., Ломако А. В.</b> Применение модели SARIMAX для прогнозирования простоев оборудования . . . . .	<b>155</b>
<b>Киселёв А. И.</b> Архитектура модульной системы удалённого вызова методов для современных платформ программирования . . . . .	<b>157</b>
<b>Коробова В. М., Скиба И. Г.</b> Математические модели в машинном обучении: от регрессионных моделей к глубоким нейронным сетям . . . . .	<b>159</b>
<b>Курочка К. С., Башаримов Ю. С.</b> Адаптация нейросетевой модели U-Net для подсчёта количества бактерий на изображениях, получаемых с помощью цифрового микроскопа . . . . .	<b>161</b>
<b>Курочка К. С., Карпенко Д. Е.</b> Локализация вредоносных насекомых семейства Tephritidae на изображениях с использованием нейронных сетей Fast R-CNN и Inception V3 . . . . .	<b>163</b>
<b>Кушнеров А. Э.</b> Интегрирующая роль автоматизированной системы управления войсками . . . . .	<b>165</b>
<b>Лапко А. И., Воротницкая М. В., Ярмолик В. И.</b> Моделирование лазерного нагрева для оптимизации процессов формирования переходных отверстий . . . . .	<b>167</b>
<b>Маутин И. В.</b> Сравнительный анализ методов и алгоритмов внедрения водяного знака в пространственную область изображения . . . . .	<b>169</b>
<b>Микулич Г. В., Жук Е. Е.</b> Методы статистической классификации стационарных временных рядов . . . . .	<b>171</b>

<b>Нестерук А. В., Нестеренков С. Н.</b> Автоматизированная модерация мероприятий с использованием нейронных сетей . . . . .	<b>173</b>
<b>Протьюко М. А.</b> Создание математической модели данных короткого секвенирования . . . . .	<b>175</b>
<b>Румас Р. А.</b> Алгоритмы однонаправленной передачи данных в компьютерных сетях . . . . .	<b>177</b>
<b>Сладиков А. С., Скиба И. Г.</b> Микросервисная архитектура: стандарты и лучшие практики разработки . . . . .	<b>179</b>
<b>Таранчук В. Б.</b> Методы, инструменты, примеры интеллектуального анализа цифровых полей . . . . .	<b>181</b>
<b>Хаджинова Н. В.</b> Моделирование веб-процессов сетями Петри с распределением задач между агентами через WebSocket . . . . .	<b>183</b>
<b>Шилин Л. Ю., Муравейко Р. О., Борисюк А. Р., Драгун Д. В.</b> Автоматизированная система генерации и анализа схемы электрической цепи . . . . .	<b>185</b>
<b>Шилин Л. Ю., Навроцкий А. А., Евдокимов В. Г.</b> Аксиоматическая модель сложных адаптивных интеллектуальных экосистем . . . . .	<b>187</b>
<b>Ючков А. К., Хаджинова К. А., Навроцкий А. А.</b> Анализ качества оценки результатов социологических исследований по неполным данным . . . . .	<b>189</b>
<b>Zhang Caigui, Yu.German</b> How to Extract Meaning from a Phrase . . . . .	<b>191</b>
<b>Zhang Yulong, Rybak V.A.</b> A Fall Detection Algorithm Based on Three-Axis Acceleration . . . . .	<b>193</b>
<b>Zhao Di, Gourinovitch A.B.</b> Transformer-based Denoising Method For Medical Images . . . . .	<b>194</b>
<b>Zhang Hengrui, Yu.O. German, He Runhai</b> Principles and Applications of Fuzzy Clustering Algorithms . . . . .	<b>196</b>
<b>Mukha V. S.</b> Algorithm of the multilayer artificial feed-forward neural network learning . . . . .	<b>198</b>
<b>Tang Yi, German O.V.</b> A Hybrid Agent-Centric and Scene-Centric Approach for Multi-Agent Trajectory Prediction . . . . .	<b>200</b>

<b>Секция «Технологии цифровой экономики» . . . . .</b>	<b>203</b>
<b>Батура М. П., Марахина И. В., Пархименко В. А.</b> К вопросу об эффективности и необходимости продвижения ИТ-компаний в социальных сетях . . . . .	<b>205</b>
<b>Волкова Я. О.</b> Анализ влияния цифровой трансформации на восприятие бренда . . . . .	<b>207</b>
<b>Киселевский О. С., Науменко Е. Ю.</b> Математическая модель оптимизации численности студенческих бригад на основании закона брукса . . . . .	<b>209</b>
<b>Колопенько Е. А.</b> Анализ применения веб-скрейпинга для исследования деловых сетей . . . . .	<b>211</b>
<b>Крюкова Д. С.</b> Энергоэффективность как фактор конкурентоспособности центров обработки данных . . . . .	<b>213</b>
<b>Круковский Г. В., Полякова А. П., Шалькевич П. К.</b> Экономические геоинформационные системы и актуальность их разработки в Республике Беларусь . . . . .	<b>215</b>
<b>Купрейчик А. С., Комличенко В. Н.</b> Применение методов обработки естественного языка для персонализированного контент-маркетинга . . . . .	<b>217</b>
<b>Милютина А. А., Кольшкіна Д. Е., Киселевский О. С.</b> Построение матрицы социально-личностных компетенций ИТ-специалистов . . . . .	<b>219</b>
<b>Нагулевич Р. С.</b> Процентный риск банка. Сравнение методов оценки . . . . .	<b>221</b>
<b>Петрович Н. О.</b> Концепция создания модели для решения задач минимизации затрат размещения предприятия . . . . .	<b>223</b>
<b>Снопок Л. А., Комличенко В. Н.</b> Технологии искусственного интеллекта в цифровой Экономике . . . . .	<b>225</b>
<b>Mosendz A. V.</b> Evaluation of the Quality of Distance Education: Methods and Approaches . . . . .	<b>227</b>
<b>Ulyana Volodzina, Iosif Vojtshenko</b> Software Support of Some Processes of Development of Mobile Interactive ADS . . . . .	<b>229</b>

*Научное издание*

# **Информационные технологии и системы 2024 (ИТС 2024)**

Материалы международной научной конференции  
(Республика Беларусь, Минск, 20 ноября 2024)

# **Information Technologies and Systems 2024 (ITS 2024)**

Proceeding of the International Conference  
(Republic of Belarus, Minsk, 20<sup>th</sup> November 2024)

В авторской редакции  
Ответственный за выпуск *М. В. Ковалёв*  
Компьютерная верстка *Н. В. Гракова*  
Дизайн обложки *А. В. Жмырко*

Подписано в печать 16.11.2023. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура «BookAntiqua».  
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 41,15. Уч.-изд. л. 45,3. Тираж 35 экз. Заказ 391.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
Распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2024,  
№2/113 от 07.04.2024, №3/615 от 07.04.2014.  
Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск

