

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

XVI Международная научно-практическая конференция

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

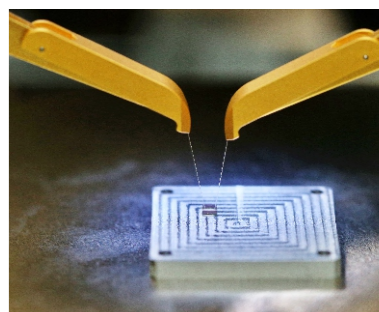
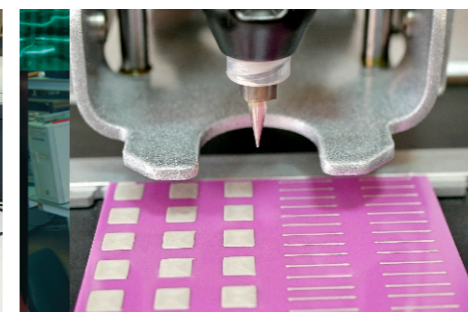
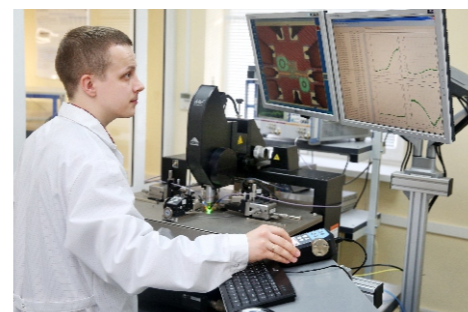
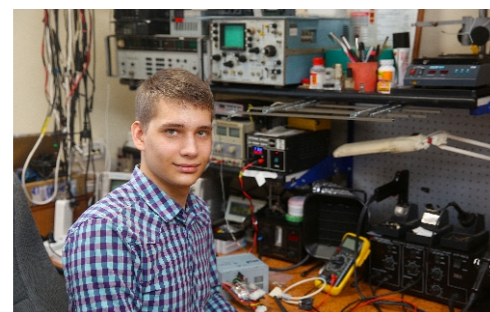
Материалы докладов

г. Томск

18–20 ноября 2020 г.

В двух частях

ЧАСТЬ 2



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

XVI Международная научно-практическая конференция

18–20 ноября 2020 г.

Материалы докладов

В двух частях

Часть 2

В-Спектр
Томск – 2020

УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965
Э 45

Э 45 **Электронные средства и системы управления:** материалы докладов XVI Международной научно-практической конференции (18–20 ноября 2020 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2020. – 250 с.

Electronic Devices and Control Systems: XVI International Scientific-practical Conference (November 18–20, 2020). – Part 4. – Tomsk: V-Spektr, 2020. – 250 p.

ISBN 978-5-91191-445-5

ISBN 978-5-91191-446-2 (Ч. 1)

ISBN 978-5-91191-447-7 (Ч. 2)

Сборник содержит материалы докладов, представленных на XVI Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (Томск, 18–20 ноября 2020 г.), по следующим направлениям: радиотехнические и телекоммуникационные системы; нанoeлектроника СВЧ; интеллектуальные системы проектирования, автоматизация проектирования электронных устройств и систем; нанотехнологии в электронике; антенны и микроволновые устройства; приборы и методы контроля; нелинейная оптика; интеллектуальная силовая электроника и преобразовательная техника; плазменная электроника; системы и устройства микроволновой радиофотоники; органическая и неорганическая полупроводниковая светотехника; электромагнитная совместимость; автоматизация и оптимизация систем управления и обработка информации; информационная безопасность; информационные технологии в управлении и принятии решений; информационные технологии в обучении; видеоинформационные технологии и цифровое телевидение; робототехника и мехатроника; проектирование и разработка веб-систем и мобильных приложений; электронное государство: предпринимательство и административное управление; Results of Postgraduate and Master Students' Research in the Sphere of Electronics and Control Systems (секция на английском языке).

Для студентов, преподавателей и специалистов, интересующихся проблемами систем управления.

УДК 621.37/39 + 681.3

ББК (Ж/О) 32.84.85.965

ISBN 978-5-91191-445-5
ISBN 978-5-91191-447-7 (Ч. 2)

© ТУСУР, 2020

© Коллектив авторов, 2020

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – АО «ПКК МИЛАНДР»



АО «ПКК Миландр»
124498, г. Москва, Зеленоград,
Георгиевский проспект, д. 5

495 981 5433 Т
495 981 5436 Ф
www.milandr.ru

АО «ПКК Миландр» (г. Зеленоград) является одним из ведущих предприятий радиоэлектронного комплекса России. Основная специализация компании – реализация проектов в области разработки и производства изделий микроэлектроники (микроконтроллеры, микропроцессоры, микросхемы памяти, микросхемы приемопередатчиков, микросхемы преобразователей напряжения, радиочастотные схемы), универсальных электронных модулей и приборов промышленного и коммерческого назначения, разработки программного обеспечения для современных информационных систем и изделий микроэлектроники.

Отличительная особенность предприятия – это обеспечение создания интегральных микросхем и электронных модулей от процессов проектирования и производства инновационных продуктов, востребованных рынком, до постоянного технического сопровождения всех реализованных проектов.

В течение последних десяти лет «Миландром» выполнено более 220 опытно-конструкторских работ в интересах аппаратурных промышленных предприятий. Разработано и доведено до серийного выпуска 363 типоминимала интегральных микросхем.

Основными потребителями изделий под маркой «Миландр» являются российские приборостроительные предприятия – изготовители аппаратуры связи, радиотехнических систем, бортовых вычислителей и систем телеметрии.

«Миландр» имеет свои представительства в городах: Москва, Нижний Новгород, Воронеж, Екатеринбург и Солнечногорск.

Офисные и производственные помещения, занимаемые компанией, составляют свыше 7000 м².

В коллективе компании работают свыше 550 высококвалифицированных специалистов, включая 23 кандидата наук.

Система менеджмента качества предприятия соответствует требованиям ГОСТ ISO 9001–2011 и распространяется на разработку и производство интегральных микросхем; пьезоэлектрических приборов и электромеханических фильтров, металлокерамических корпусов интегральных микросхем, многокристальных модулей и микросборок, источников вторичного электропитания и радиоэлектронной аппаратуры.

Генеральный директор АО «ПКК Миландр» – Павлюк Михаил Ильич

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – КОМПАНИЯ «KEYSIGHT TECHNOLOGIES»



ООО «Кейсайт Текнолоджиз»
Россия, 115054, г. Москва,
Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: 495 797 39 00
Факс: 495 797 39 02
www.keysight.ru

«Keysight Technologies» – мировой технологический лидер на рынке контрольно-измерительных решений для электронной, оборонной, аэрокосмической и телекоммуникационной промышленности. История компании началась под брендом «Hewlett-Packard». Первый измерительный прибор под этой маркой был выпущен более 80 лет назад. В 1999 г. произошло стратегическое разделение компании «Hewlett-Packard» на HP и Agilent Technologies, а в 2014 г. из Agilent Technologies была выделена в самостоятельный бизнес Keysight Technologies, сосредоточившаяся на оборудовании для измерения электрических сигналов.

2020 г. открыл девятое десятилетие истории компании «Keysight Technologies» с момента основания в 1939 г. Б. Хьюлеттом и Д. Паккардом направления электронных измерений. Более 50 лет непрерывного сотрудничества и инноваций связывают компанию с Россией, в которой она продолжает успешно работать под новым именем! Построенная на фундаменте прошлых достижений компания подтверждает все свои обязательства перед заказчиками – как в области дальнейшего развития измерительных технологий и приверженности высочайшему качеству продукции, так и в области гарантийного и сервисного обслуживания.

В настоящий момент компания «Keysight Technologies» предоставляет самый широкий на рынке спектр контрольно-измерительных решений, в том числе оборудование для радиоизмерений (генераторы сигналов, анализаторы сигналов, анализаторы цепей), осциллографы и приборы общего назначения (мультиметры, генераторы импульсов, системы сбора данных, источники питания, логические анализаторы), решения для проектирования и моделирования (в том числе решения для автоматизации разработки электронных устройств, решения для проектирования высокочастотных/смешанных интегральных схем, решения для электромагнитного моделирования пассивных трехмерных структур произвольной формы, решения для моделирования антенн и пр.), решения для тестирования в области телекоммуникаций, электроэнергетики, автомобилестроения, отрасли Интернета вещей, кибербезопасности, автоматизации, в том числе с использованием искусственного интеллекта.

Российский офис компании «Keysight Technologies» предлагает своим клиентам локальную техническую и сервисную поддержку, техническую документацию на русском языке. Для серий малогабаритных осциллографов, генераторов сигналов и анализаторов спектра разработаны русскоязычные интерфейсы пользователя. На большинство приборов есть сертификаты об утверждении типа средств измерений. На постоянной основе ведется работа по включению в Госреестр новых приборов «Keysight Technologies».

Среди крупнейших клиентов «Keysight Technologies» в России ведущие научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, вузы, крупнейшие операторы связи.

Большое внимание «Keysight Technologies» уделяет работе с высшими учебными заведениями по всему миру. За время своего существования компания накопила большой опыт успешного сотрудничества с академическим сообществом и предлагает высокотехнологичные и доступные решения для учебных лабораторий, совместные научно-технические мероприятия, методические и учебные материалы и профессиональные стажировки для студентов и молодых специалистов.

Самое современное оборудование и инновационные образовательные инициативы «Keysight Technologies» позволяют готовить высококвалифицированных профессионалов. Возможность учиться и работать с использованием новейшего оборудования и программного обеспечения является серьёзным мотивирующим фактором и стимулирует интерес студентов к инженерной работе и научным исследованиям.

Помимо офиса в Москве для поддержки наших клиентов работают региональные представительства в Томске, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Ростове-на-Дону.

Информация о компании «Keysight Technologies» доступна в сети Интернет по адресу:
www.keysight.ru

Генеральный директор ООО «Кейсайт Текнолоджиз» – Смирнова Галина Владимировна

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ГРУППА КОМПАНИЙ «НАУЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ»



Группа компаний «Научное оборудование»
630128, Россия, г. Новосибирск,
ул. Инженерная, 4а, оф. 212

Тел.: 495 150 32 95
Тел./факс: 383 330 82 95
www.spegroup.ru

Компания «Научное оборудование» была создана в 1999 г. На момент создания основным направлением деятельности компании было снабжение организаций СО РАН современным научным оборудованием. Деятельностью, связанной с поставками оборудования, компания занимается уже более 20 лет и достигла в этой области значительных результатов.

За время существования в компании были созданы подразделения, специализирующиеся на поставке оборудования для отдельных отраслей науки и промышленности, а также представительства в крупных российских городах. Эти дочерние структуры совместно с основной компанией и сформировали группу компаний «Научное оборудование», которая существует в настоящее время.

Со временем сфера наших интересов также существенно расширилась. Сейчас в группе компаний есть предприятия, занимающиеся разработкой собственных уникальных технологических решений и производством оборудования для их реализации. Большое внимание мы уделяем организации совместной работы с научными коллективами и промышленными предприятиями электронной и космической отраслей для решения широкого круга задач наших российских и иностранных партнёров. Сибирский регион имеет значительный научно-технический потенциал, и мы работаем над тем, чтобы этот потенциал использовался и увеличивался.

На сегодняшний день география работы группы компаний охватывает всю Россию, ближнее и дальнее зарубежье. Группа компаний успешно сотрудничает с научными организациями СО РАН, УРО РАН, ДВО РАН, промышленными предприятиями, технологическими компаниями, учебными заведениями высшего образования. Наши заказчики заняты во многих отраслях экономики, и мы работаем над тем, чтобы наши предложения были интересны для предприятий самой разной отраслевой направленности.

Мы привносим элемент творчества в такую казалось бы приземленную область деятельности, как снабжение оборудованием. Осмысленный подход к оснащению предприятий, глубокое погружение в задачи, понимание реальных потребностей партнера и его ожиданий – эти очевидные вещи дают возможность объединения наших знаний, вдохновения и творческой энергии с компетенциями производителей оборудования для достижения уникальных результатов. И достижение именно таких результатов приносит нам настоящую радость и удовлетворение от работы.

В своей деятельности мы считаем наиболее важными следующие моменты:

- Юридическая чистота и безопасность.
- Мы полностью соблюдаем налоговое и таможенное законодательство и избегаем рисков, связанных с ненадлежащим его исполнением. Наши заказчики получают оборудование, оформленное с соблюдением всех необходимых формальностей.
- Объективность и достоверность.
- Своевременное предоставление партнёрам полной и достоверной информации по всем интересующим их вопросам – приоритет нашей компании, позволяющий партнёрам получать наилучший результат.

Мы всегда готовы шагнуть за пределы известного – использовать все возможности для того, чтобы найти оптимальное решение для задач заказчика, в том числе и тех, для которых готового решения просто не существует. И часто нам это удаётся!

Своей миссией мы видим деятельное участие в поступательном развитии научно-технического потенциала Сибири и Дальнего Востока путём построения и реализации долгосрочных отношений с широким кругом партнёров и выстраивания сети контактов, в рамках которой наши заказчики могут эффективно взаимодействовать, объединяя усилия для достижения общих результатов.

Группа компаний «Научное оборудование» существует уже более 20 лет. Сотрудничество с нами всегда продуктивно, комфортно и происходит в атмосфере взаимопонимания. У нас много амбициозных и долгосрочных задач, но прежде всего мы работаем над тем, чтобы задачи наших партнеров были решены самым простым и в то же время наилучшим образом.

Приглашаем к долгосрочному и взаимовыгодному сотрудничеству!

Директор ООО «Научные приборы и системы» – Федоров Павел Леонидович

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ООО «50ОМ ТЕХНОЛОДЖИЗ»

50ohm Technologies

ООО «50ом ТЕХНОЛОДЖИЗ»

info@50ohm.tech

https://50ohm.tech/ru

634031, г. Томск

+7-923-408-0408

50ohmTechRus

company/50ohm-technologies-llc

Компания «50ohm Technologies» разрабатывает программное обеспечение для автоматизации измерений, построения моделей компонентов и проектирования ВЧ- и СВЧ-радиоэлектронных устройств.

«50ohm Technologies» предлагает решения задач автоматизации рабочих процессов с учётом индивидуальных особенностей предприятия. Миссия компании – обеспечить разработчиков СВЧ-устройств простыми и удобными инструментами, которые позволят реализовать их творческий потенциал.

Компания разрабатывает программные решения по направлениям:

- автоматизация процесса измерений;
- базы данных результатов измерений и их автоматическая обработка;
- автоматизация проектирования СВЧ-устройств;
- построение моделей электронных компонентов;
- подготовка научно-технической документации.

Компания обладает компетенциями в использовании методов искусственного интеллекта и экспертных систем. Внедрение данных технологий на предприятие позволяет перейти на качественно новый уровень и автоматизировать наиболее рутинные этапы бизнес-процессов.

«50ohm Technologies» предлагает услуги по разработке систем автоматизации измерений, реализуемых на основе оборудования заказчика. Использование готовых сценариев измерений конкретных компонентов и устройств в значительной степени сократит время тестирования и повысит эффективность измерений. «50ohm Technologies» производит разработку решений автоматизированной генерации технической документации по типовым шаблонам – от оформления графиков до формирования готовых документов.

Компания обладает значительным опытом построения моделей пассивных и активных СВЧ-компонентов. Создание программного обеспечения на основе общепринятых и авторских методик в значительной степени упрощает и автоматизирует процесс построения моделей, уменьшая временные и финансовые затраты предприятия на данном этапе.

Наиболее сложным этапом в процессе проектирования СВЧ-устройства является получение схемотехнического и топологического решений. За годы научной работы коллектив получил успешный опыт разработки и использования программных модулей САПР, основанных на методах искусственного интеллекта. Такие программы позволяют получить целый набор решений, из которых разработчик может выбрать наиболее подходящее для дальнейшей реализации. Также компания занимается автоматизацией проектных операций в популярных коммерческих САПР СВЧ-устройств и интеграцией между ними.

*Директор ООО «50ом Технолоджиз» – **Калентьев Алексей Анатольевич***

Секция 13

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Председатель секции – *Кориков Анатолий Михайлович*, зав. каф. АСУ,
д-р техн. наук, профессор

УДК 62-529

С.М. Алфёров, Р.Е. Богачев, А.С. Бондаренко, А.А. Пивоваров, Д.А. Неверовский

**Разработка системы автоматизированного управления
отоплением**

Представлены результаты начального этапа разработки аппаратно-программной системы автоматизированного управления отоплением (ГПО АСУ № 1907, руководитель доцент каф. АСУ С.М. Алфёров). Разрабатываемая нами система способна автоматически регулировать температуру в помещении, основываясь на заданных пользовательских предпочтениях.

Ключевые слова: автоматическая регулировка температуры, отопление, аппаратно-программный комплекс.

В настоящее время в Российской Федерации ведется крупномасштабная работа по экономии всех видов энергоресурсов. Различные системы автоматизированного управления развиваются, становятся популярнее с каждым годом, что приводит к всё большему спросу на различные отрасли их применения. Усиливающиеся санкции и экономический мировой кризис заставляют производителей и потребителей энергии все чаще задумываться о путях экономии. Широкое распространение счетчиков воды создало реальные предпосылки для ее экономии, однако, таких же приборов для отопления мало и их внедрение, особенно на производстве, слабое. При этом задача экономии энергоресурсов из задач частной компании стала государственной. Наиболее актуальны задачи экономии тепла на предприятиях Севера, на объектах газо- и нефтедобычи.

Автоматизированное управление отоплением – это система, предназначенная для использования в квартирах, частных домах, коттеджах, предприятиях и любых помещениях, обеспечивающая комфортное проживание и ресурсосбережение. В простейшем случае она должна уметь распознавать конкретные ситуации, происходящие в месте её установки, и соответствующим образом на них реагировать, например калибровка температуры в определенное время суток.

Однако существующие реализации автоматизированного управления отоплением обладают определенными недостатками, что не позволяет им стать популярными. К ним относятся большая цена (особенно блока управления); сложный монтаж; отсутствие учета температуры воздуха на улице; отсут-

ствии удаленного управления через веб-интерфейс. Не все специалисты справятся с установкой комплекса, даже при наличии подробного чертежа, а регулировка и настройка могут представлять собой не менее сложный процесс. Цена умного отопления высокая, как и стоимость монтажа, – это основные недостатки, но отсюда вытекают и другие минусы системы: высокая цена ремонта, сложность подключения дополнительных компонентов и их замены. Это лишь общие минусы, характерные для большинства систем, однако каждая отдельно взятая система может иметь свои собственные недостатки наряду перечисленными выше.

Наш проект ставит перед собой цель создания автоматизированной системы управления отоплением, сочетающей в себе главные достоинства умного отопления, а также исключаяющей наличие типичных недостатков (рис. 1).

Задачи

Система должна выполнять следующие основные функции:

1. Моделирование изменения температуры под действием напряжения на нагревательном элементе котла.
2. Идентификация параметров модели ОУ (объект управления).
3. Моделирование работы СУ (система управления).
4. Настройка параметров регулятора.

Входные данные

- Для 1-й функции:
 - временной интервал моделирования,
 - временной шаг моделирования,
 - параметры модели,

- управляющий сигнал (напряжение на нагревательном элементе котла),
- начальное состояние (температура в помещении),
- температура на улице (если учитываем её).
- Для 2-й функции:
 - экспериментальные данные при известных управляющих сигналах,
 - начальное приближение искомых параметров модели ОУ.
- Для 3-й функции:
 - параметры ОУ,
 - параметры регулятора,
 - задающее (требуемое) значение температуры в помещении,
 - временной интервал моделирования,
 - временной квант моделирования,
 - начальное состояние СУ (температура в помещении, управляющее воздействие и прочее).
- Для 4-й функции:
 - начальное приближение параметров модели СУ (точнее параметров регулятора, так как к моменту решения этой задачи, параметры ОУ должны быть уже идентифицированы),
 - требуемое поведение системы.

Выходные данные

- Для 1-й функции:
 - текущая температура в помещении.
- Для 2-й функции:
 - идентифицированные параметры модели ОУ.
- Для 3-й функции:
 - текущее значение температуры в помещении,
 - текущее управляющее воздействие,
 - температура воды в котле.
- Для 4-й функции:
 - настроенные параметры регулятора.



Рис. 1. Система автоматизированного управления (стенд)

Результаты работы

Для понимания работы системы обратимся к рис. 2.

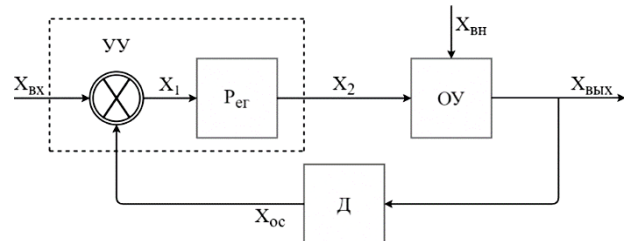


Рис. 2. Структура системы управления; УУ – устройство управления; ОУ – объект управления; Д – датчики

Рисунок 2 помогает абстрактно понять, как работает система [1]. По данной схеме видно, что устройство управления, представленное в системе в виде контроллера и реле, получает данные с датчиков (термопара и датчик DS18B20) и затем, после обработки полученной информации, осуществляет воздействие на объект управления, представленный в виде клапана, который направляет поток воды либо в радиатор, либо в обход ему.

Теперь посмотрим поподробнее, что происходит. Данные с термопары и датчика DS18B20 считываются контроллером ATmega168 [4] (рис. 3) (для программирования контроллера используются Arduino IDE и библиотека OneWire) и затем подвергаются дальнейшей обработке, результатом которой будет пакет данных, отправляемый через UART. Этот пакет данных затем считывается приложением на Raspberry PI [2, 5] для получения коэффициентов ПИД-регулятора, которые, в свою очередь, уже и используются аппаратной-программной платформой для регулировки температуры.

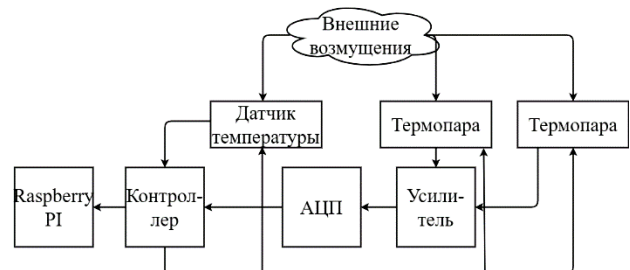


Рис. 3. Прототип работы ПО для обработки сигнала с датчиков DS18B20 и термопары

Для обработки сигнала с термопары необходима схема, которая усиливает её сигнал для дальнейшей обработки АЦП Arduino [3]. Этот сигнал в дальнейшем отправляется на контроллер. Данные с датчика температуры отправляются напрямую в контроллер.

В контроллере вся полученная информация формируется в пакет и отправляется на Raspberry PI 3В+ для дальнейшей обработки. Полученный пакет данных обрабатывается, и мы получаем коэффициенты ПИД-регулятора.

Однако показатели с датчиков – это не единственные данные, которые получает наша система. Как было сказано ранее, она должна подстраиваться

под своих пользователей, а значит, должна обрабатывать их запросы.

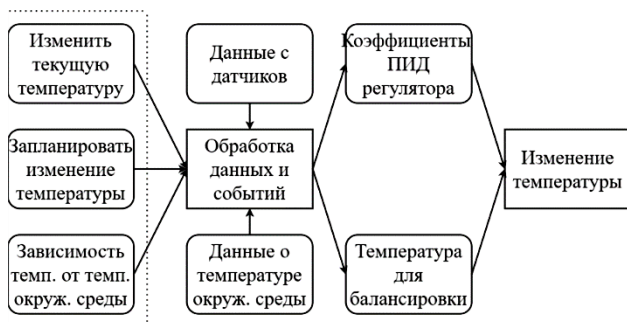


Рис. 4. Обработка данных

На рис. 4 мы можем видеть все данные, которые обрабатываются системой. На данном рисунке можно выделить три блока:

– Первый – «Пользовательский ввод» (выделен рамкой). Этот блок показывает нам какие данные мы ожидаем от пользователя, и что он может поменять в работе системы. Эту информацию мы передаём в следующий блок.

– Второй – «Обработка данных и событий». Самый важный блок всей системы. Здесь проходит обработка данных с датчиков и обработка пользовательского ввода, а также определение, в каком состоянии должна в данный момент находиться система и в каком состоянии она будет в будущем. А также в нём формируются коэффициенты ПИД-регулятора и значение температуры для балансировки, которые передаются на следующий блок.

– Третий – «Изменение температуры». Получив коэффициенты ПИД-регулятора, а также температуру для балансировки, данный блок принимает решение об изменении или неизменении текущего состояния системы.

Заключение

В ходе работы было сделано и реализовано следующее:

- разработана структура управления системой;
- составлен алгоритм работы: откуда берутся данные, что с ними делается и что является результатом их обработки;
- написано необходимое программное обеспечение, позволяющее:

- а) считывать показатели с датчиков;
- б) обрабатывать данные и принимать решения на основе их обработки;
- в) управлять электроникой.

Литература

1. Поляков К.Ю. Основы теории автоматического управления: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГМУ, 2012. – 234 с.
2. Изучаем Python. – 4-е изд. / пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 1280 с.
3. Искусство схемотехники / пер. с англ. – 2-е изд. – М.: БИНОМ, 2014. – 704 с.
4. Мейкерство. Arduino и Raspberry Pi. Управление движением, светом и звуком / пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 336 с.
5. Микрокомпьютеры Raspberry Pi: практ. руководство. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 240 с. (Электроника).

Алфёров Сергей Михайлович

Канд. техн. наук, доцент каф. автоматизированных систем управления (АСУ) ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: alhoresm@sibmail.com

Богачев Роман Евгеньевич

Студент каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: bogachyov.mail@gmail.com

Бондаренко Алексей Сергеевич

Студент каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: kulek_leha@mail.ru

Пивоваров Алексей Андреевич

Студент каф. автоматизации обработки информации (АОИ) ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: alexey_1010@mail.ru

Неверовский Данил Андреевич

Студент каф. АСУ ТУСУР
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: danil.danil.neverovskiy.neverov@mail.ru

УДК 621.396.41

А.С. Писанкин, А.Ю. Чепкасов, А.С. Гончаров

Прогнозирование перегрева привода промышленного манипулятора с использованием методов интеллектуального анализа данных

Представлены результаты решения задачи прогнозирования временных рядов методами машинного обучения. Приведены результаты статистического анализа исходного набора данных, на основе которого определена стратегия построения модели для обучения. Проведен сравнительный анализ алгоритмов машинного обучения.

Ключевые слова: временные ряды, анализ данных, машинное обучение, нейронная сеть, нормализация.

Современные промышленные предприятия используют дорогостоящее оборудование, выход из строя которого приводит к остановке производства и как следствие крупным финансовым потерям.

Один из подходов к решению данной проблемы – внедрение методов интеллектуального анализа данных для отслеживания изменения температуры приводов промышленного манипулятора с целью своевременного предотвращения перегрева [1].

Цель данной работы – прогнозирование изменений температуры приводов промышленного манипулятора, основываясь на снятых в режиме реального времени физических показателях, в нормальном режиме работы.

Описание исходных данных

Данные для исследования получены в ходе проведения 4 серий опытов над несколькими различными манипуляторами: Agilus, Frezer, Palitir, Palit, Svarka. Каждый манипулятор имеет 6 приводов, для каждого из которых были сняты следующие физические показатели: время (s), сила тока (mA), скорость вращения (m/s), температура привода (°C), момент силы (H*m).

Анализ и подготовка данных

Целью данного этапа является подготовка данных перед формированием модели машинного обучения, выявление и устранение аномальных значений.

На рис. 1 представлен график изменения температуры подвижных частей манипулятора Agilus.

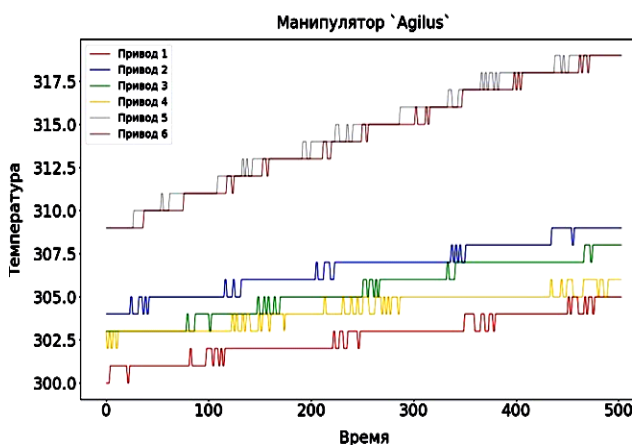


Рис. 1. График изменения температуры привода, первые 500 с работы

Для каждого привода температура колеблется в определенном диапазоне. Колебания периодические, диапазон меняется с течением времени. Общая тенденция – рост температуры [3].

Из-за низкой точности измерительного прибора, цена деления которого составляет 1 °C, наблюдаются колебания значения температуры около истинного значения, что вносит существенную погрешность в модель машинного обучения. Для уменьшения погрешности была проведена аппроксимация температуры.

Период изменения скорости для каждого привода различен, следовательно, рассматривать каждый из них необходимо отдельно [4]. Сама скорость меняется не по периодическому закону. Это обусловлено неточностью измерительных приборов и отклонениями, возникающими случайным образом в процессе эксплуатации.

Сила тока меняется случайным образом в явно выраженном диапазоне. Такие изменения обусловлены переменной природой тока. График изменения силы тока представлен на рис. 2.

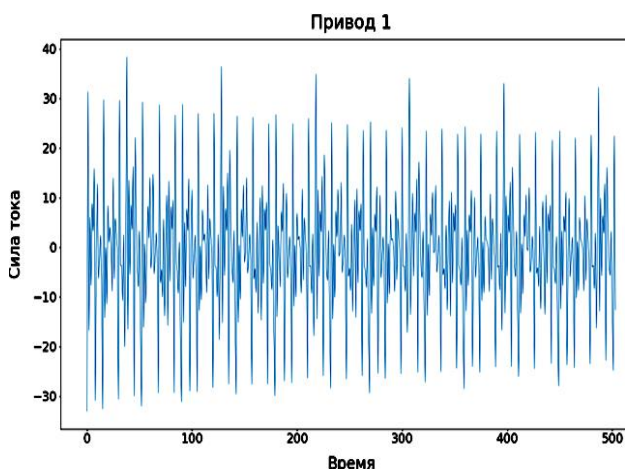


Рис. 2. График изменения силы тока Agilus для привода 1, первые 500 с работы

Явно преобразовывать силу тока не имеет смысла, поскольку сглаживание величины, которая меняется случайным образом в определенном диапазоне, только ухудшит результаты на реальных данных.

Модель обучения будет основываться на 4 физических показателях: температура, сила тока, скорость и момент силы. Каждая из этих метрик имеет разные размерности и единицы измерения. В исходном виде такие данные не подходят для модели.

Метрики имеют различный физический смысл, при этом они различаются на несколько порядков по абсолютным величинам, что приводит к дисбалансу значений признаков.

Преобразование данных

Для улучшения точности модели необходимо нормализовать данные.

В качестве алгоритма нормализации была выбрана стандартизированная оценка (z-оценка) из-за простоты реализации и свойств нормализованных значений (среднее значение 0 и стандартное отклонения 1). Данная оценка идеально подойдет для рекуррентной ИНС.

$$S = (x - \mu) / \sigma, \quad (1)$$

где x – значение, μ – среднее значение, σ – среднеквадратичное отклонение.

Исходные данные разделяются на 2 части: данные для обучения и данные для тестирования. Доля от общего количества данных составляет 70 и 30% соответственно.

На рис. 3 изображен результат нормализации данных. Каждая из частей нормализована отдельно, это гарантирует, что тестовые данные не повлияют на результат обучения.

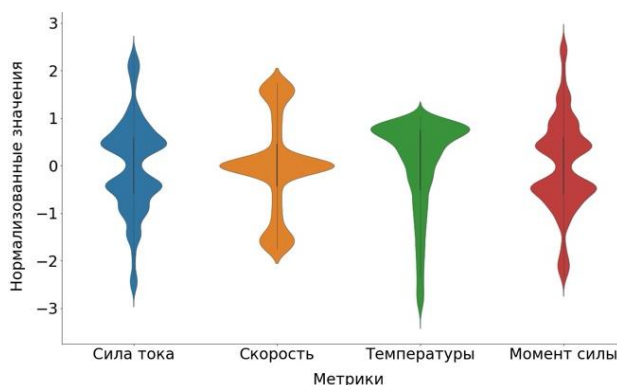


Рис. 3. Нормализованные данные для Agilus

Результаты

Все данные, представленные в этом разделе, получены при анализе набора данных из 1 серии опытов 1 привода манипулятора Agilus. При обучении использовались модели: линейная, плотная, сверточная ИНС, рекуррентная ИНС [2].

Как и входной набор данных, результаты получены в нормализованном виде, для упрощения сравнения графики на рис. 4–7 представлены после масштабирования.

Значения предсказанной температуры у рекуррентной ИНС спустя некоторое время выровнялись и график предсказаний достаточно точно повторил форму графика исходных значений.

Сверточная ИНС и плотная повторяют исходный график с большей погрешностью, чем у рекуррентной ИНС и линейной.

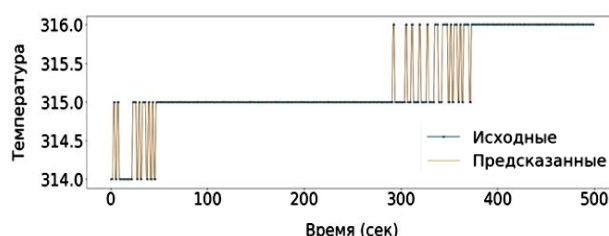


Рис. 4. Результат работы (линейный)

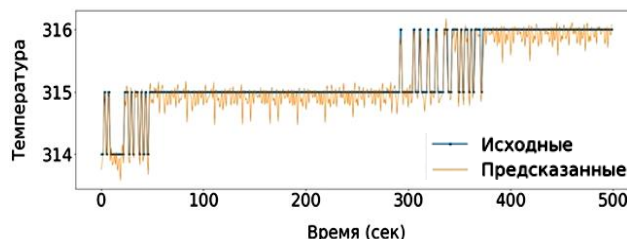


Рис. 5. Результат работы (плотный)

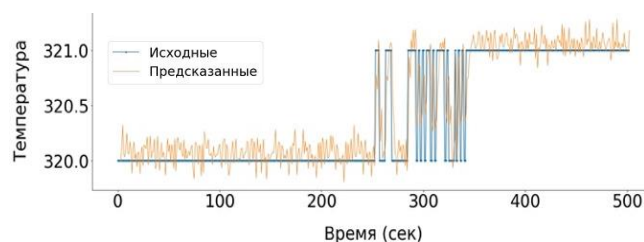


Рис. 6. Результат работы (сверточная ИНС)

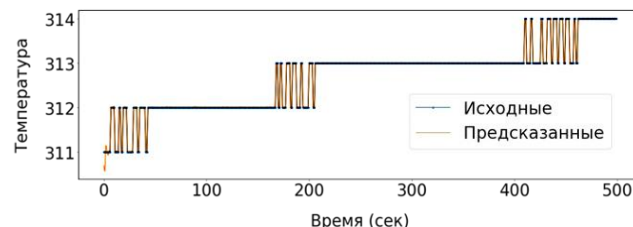


Рис. 7. Результат работы (рекуррентная ИНС)

Несмотря на то, что на представленном промежутке данных график предсказания температуры на основе линейной модели почти полностью совпадает с графиком истинных значений, на всей тестовой выборке он показывает результат хуже сверточной и рекуррентной ИНС.

Большая часть значений погрешности значений предсказанной температуры находится в диапазоне от 0 до 4 °С, как показано на рис. 8.

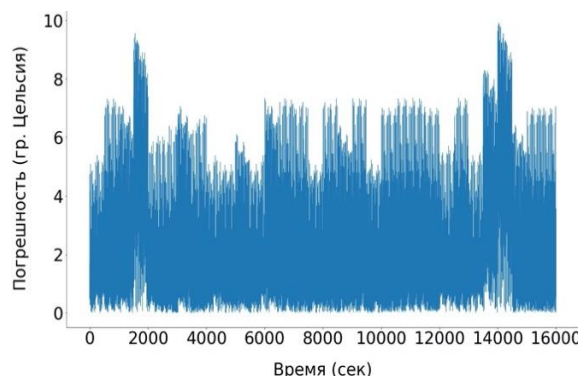


Рис. 8. График зависимости погрешности от времени (рекуррентная ИНС)

Сравнение методов

Эффективность выбранных алгоритмов машинного обучения для решения поставленной задачи определяется следующими параметрами: t – время обучения и P – погрешность предсказаний температуры [5].

Результаты обучения алгоритмов приведены в таблице.

Результаты обучения

Модель	Метрики		
	$P, \%$	$t, \text{с}$	Эпохи
Линейная	2,4	24,27	17
Плотная	2,41	8,54	5
Сверточная ИНС	2,25	24,32	15
Рекуррентная ИНС	2,22	1184,9	20

На основе вышепредставленной информации наилучших результатов достигает рекуррентная ИНС. Однако скорость обучения во много раз больше, чем у второй по точности модели – сверточной ИНС.

Выводы

На основе нормализованного исходного набора данных была построена модель для наиболее популярных алгоритмов машинного обучения в решении задачи прогнозирования временных рядов. Достигнутая погрешность моделей составляет 2,2–2,4%, что является отличным результатом в рамках задачи прогнозирования изменения температуры приводов в нормальном режиме работы.

Стоит отметить, что разработанный алгоритм подходит только для анализа данных со схожим набором метрик и на данный момент позволяет предсказать изменения температуры, характерные только для нормального режима работы оборудования. Сравнение ожидаемых тенденций изменения температуры с реальными показателями позволит заблаговременно

принимать меры по предотвращению перегрева оборудования.

Литература

1. Onur K., Ozgur T.K., Muharrem M. Advanced Predictive Maintenance with Machine Learning Failure Estimation in Industrial Packaging Robots // 15th International Conference on development and applications systems. – 2020.
2. TensorFlow 2019. Time series forecasting. – 2019. – URL: https://colab.research.google.com/github/tensorflow/docs/blob/master/site/en/tutorials/structured_data/time_series.ipynb (дата обращения: 07.08.2020).
3. Kaggle. Electric motor: predicting Stator Temperature. – URL: <https://www.kaggle.com/ke2207/electric-motor-predicting-stator-temperature/notebook> (дата обращения: 19.09.2020).
4. Макклини У. Python и анализ данных / пер. с англ. А.А. Слинкикин. – М.: ДМК-Пресс, 2015. – 482 с.
5. Орельен Ж. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем / пер. с англ. – СПб.: ООО «Альфа-книга», 2018. – 688 с.

Писанкин Андрей Сергеевич

Студент отд. информационных технологий ИШИТР НИ ТПУ, г. Томск
Эл. почта: asp66@tpu.ru

Чепкасов Артем Юрьевич

Студент отд. информационных технологий ИШИТР НИ ТПУ, г. Томск
Эл. почта: ayc1@tpu.ru

Гончаров Аркадий Сергеевич

Аспирант отд. информационных технологий ИШИТР НИ ТПУ, г. Томск
Эл. почта: asg19@tpu.ru

УДК 621.396.41

М.Ю. Катаев, И.Ю. Чернышов

Представление результатов расчета параметров движения человека в форме протокола

Представлены результаты расчета параметров движения человека, разрабатываемые на основе проекта ГПО АСУ-1902 «Параметры походки человека». Так как на человеческое тело действуют факторы при разной физической активности (ходьба, бег, упражнения) или физическом бездействии, следует принять, что масса тела человека сосредоточена в центре тяжести (ЦТ). Поэтому в задаче определения параметров походки человека предстоит найти ЦТ и на основе центров тяжести вычислить параметры походки человека, которые могут быть использованы в изучении здорового человека и человека с заболеваниями (детский церебральный паралич, плоскостопие, сколиоз и др.).

Ключевые слова: изображение, походка человека, анализ, центр тяжести, подгонка.

Ходьба – это естественный способ передвижения человека каждый день, при котором одновременно задействовано большое количество мышц, сгибающих и разгибающих суставы, связанных со скелетной структурой [1–3]. Шаг является элементом ходьбы, представляющий положение человека, когда одна нога остается на месте, а вторая нога меняет положение в пространстве. При этом происходит изменение центра масс, который регулирует положение равновесия человека. Так как ходьба задействует все элементы человеческого организма, то изучение этого сложного процесса позволит выявлять любые изменения его состояния. Каждый человек имеет свой рост, массу тела, темперамент, и это все влияет на особенности характера ходьбы. Эти особенности необходимо извлекать из анализа колебаний центра масс при движении. В данной работе приводится описание подхода для изучения основных закономерностей, которые характеризуют параметры походки (индивидуальные особенности ходьбы человека): скорость ходьбы, длину, симметрию шагов.

Постановка задачи

Центр массы (ЦМ) – это место, в котором концентрируется масса тела человека. Для нахождения центра масс используется метод нахождения середины треугольника и метод деления фигуры на блоки [1]. Расчет идет с поиска примерного центра головы методом выделения «блока» головы из расчета, что она занимает 15–18% от человеческого тела. Далее ищется горизонтальная прямая, отделяющая голено-стоп. После чего проводится перпендикуляр из центра головы к данной прямой. Точка, отображающая середину данного перпендикуляра, и есть центр масс человека. Исходя из этого, походку человека можно рассчитать, и она будет выглядеть как синус подобная функция.

При изменении центра масс, когда человек движется, график будет иметь вид синусоидальной функции. Положение точек максимума соответствует положению человека, когда у него ноги совмещены и центр тяжести в максимально высокой точке. Положение точек минимума соответствуют положению, когда человек сделал шаг, ноги разведены и центр тяжести занимает низшее положение. Имея измерения

положения центра тяжести тем или иным способом (изображение, акселерометр или другие методики), можно оценить параметры походки.

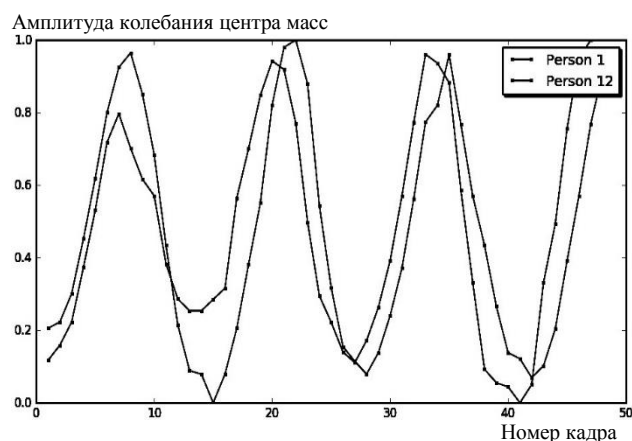


Рис. 1. График походки человека

Для решения задачи расчета параметров движения человека в потоке центров тяжести предлагается алгоритм действий, который позволяет с достаточной точностью рассчитать параметры движения для последующего анализа и выделения особенностей при хождении. Далее приведен основной алгоритм обработки данных.

1. Получение массива ЦМ.
2. Первичная обработка.
3. Сглаживание.
4. Поиск точек экстремумов.
5. Расчет параметров движения.
6. Анализ параметров движения.

Анализ положения центров тяжести

В основе анализа положения центров тяжести лежит нахождение всех экстремумов кривой, т.е. точек минимума и точек максимума T_i , поиск амплитуды в точке экстремума A_i , а также вычисление длины прямой, начинающейся от полувысоты амплитуды и заканчивающийся на кривой S_i . Эти величины позволяют определить параметры походки человека по следующим формулам [4]:

$$V_s = L / (T(N) - T(1)), \quad (1)$$

$$F_s = N / (T(N) - T(1)), \quad (2)$$

$$Ws = Vs/Fs, \quad (3)$$

$$T1(i) = Vs/Fs, \quad (4)$$

$$R1(j) = A(i)/(T(i + 1) - T(i)), \quad (5)$$

$$R2(j) = A(i + 1)/(T(i + 2) - T(i + 1)), \quad (6)$$

$$DR(k) = R1(j)/R2(j), \quad (7)$$

$$DT1(k) = T1(j + 1)/T1(j), \quad (8)$$

$$A(i), \quad (9)$$

$$DA(j) = A(i + 1)/A(j), \quad (10)$$

$$S1(i), \quad (11)$$

$$DS(j) = S(i + 1)/S(i), \quad (12)$$

$$T2(j) = T(i + 2) - T(i), \quad (13)$$

$$DT2(k) = T2(j + 1)/T2(j), \quad (14)$$

где Vs – средняя скорость движения, Fs – средняя частота движения, Ws – средняя длина шага, $T1$ – время одного шага, $R1$ – темп шага первой ногой, $R2$ – темп шага второй ногой, DR – различие темпа двух шагов, $DT1$ – различие времени двух шагов, $A1$ – амплитуда одного шага, DA – различие амплитуды двух шагов, $S1$ – ширина на полувысоте амплитуды, DS – различие ширины двух шагов, $T2$ – время двойного шага, $DT2$ – различие двойного шага.

На рис. 2 представлен результат работы алгоритмов и составлен протокол в виде текстового документа с рассчитанными параметрами походки человека.

result_storage — Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

Точки амплитуды:

19.7252 19.7106 19.7196 19.7218 19.7279 19.7327 19.7361 19.7381

Время j-го шага:

20 22 20 21 21 21 21

Точки амплитуды/2:

9.86259 9.85532 9.8598 9.86088 9.86397 9.86635 9.86805 9.86904

Дельта амплитуды:

0.999262 1.00046 1.00011 1.00031 1.00024 1.00017 1.0001

Точка Сигма:

9.87852 8.64865 11.1877 8.81361 11.0231 8.9789 10.8583 9.14446

Позиция Сигма:

20 40 61 82 103 124 145 166

Дельта Сигма:

0.8755 1.29357 0.787797 1.2507 0.814549 1.20932 0.842162

Темп:

0.986259 0.895938 0.98598 0.939132 0.939426 0.939653 0.939814 0.939908

Дельта темпа:

1.10081 0.908677 1.04989 0.999687 0.999758 0.999828 0.9999

Средняя скорость движения (300/167):

1.79641

Частота:

0.0538922

Средняя длина шага:

33.3333

Изменение времени между шагами:

1.1 0.909091 1.05 1 1 1 1

Время двойного шага:

42 42 41 42 42 42 42

Изменение двойного шага:

1 0.97619 1.02439 1 1 1

Рис. 2. Составление протокола с рассчитанными параметрами походки человека

Хорошо видно, что кривая походки человека сохраняет законы периодической функции, и через равные промежутки времени (4) можно наблюдать периодичность кривой ЦТ. В сравнении времени одного

шага есть небольшие отклонения, но в общем человек делает шаг с одной и той же скоростью. Амплитуда шагов также примерно одинакова и в среднем составляет 17,26. Разница во времени между шагами составляет 1. Из этого следует, что движение человека равномерное.

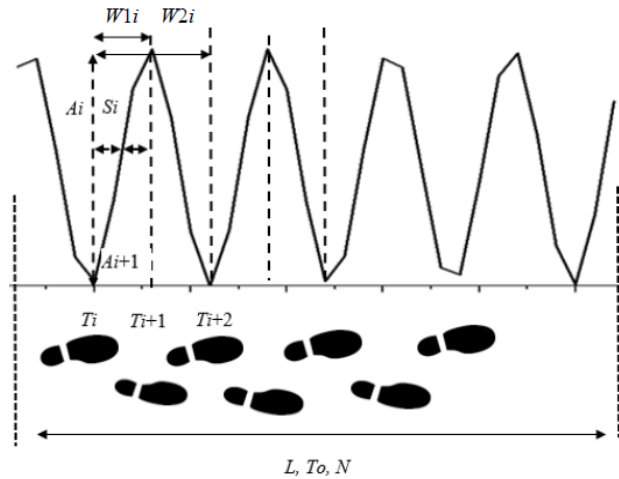


Рис. 3. Положения ЦТ во время движения

Анализ функции кривой методом подгонки

В основе протокола лежат две части, одна из которых представлена выше – это вычисление статистических параметров, и вторая – метод подгонки функции \sin к имеющейся кривой, который заключается в следующем. Имеется некоторая кривая, сохраняющая законы периодической функции. Необходимо на основании данной кривой построить приближенную кривую. Метод подгонки похож на метод наименьших квадратов для линейной функции

$$y = a \times x + b. \quad (15)$$

Так как функция синуса относится к нелинейной функции, расчетную формулу можно представить в виде

$$y(x) = A + C \times \sin(x + b). \quad (16)$$

На основании этой формулы рассчитываются параметры A , b , C и строится приближенная функция.

В результате работы функции подгонки вычисляется новая кривая, которая считается приближением. На рис. 4 представлены подгонка синусоиды пунктирной линией, и исходная кривая сплошной линией, по которой строится приближение.

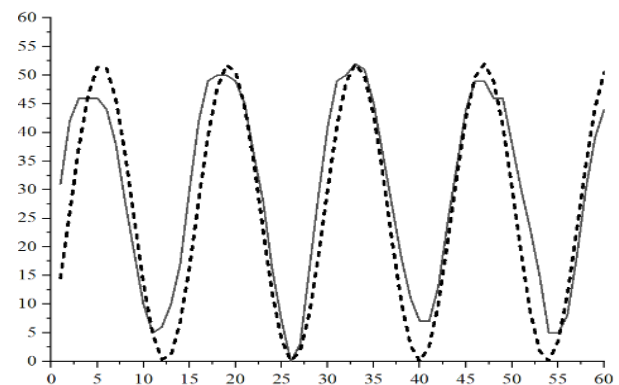


Рис. 4. Результат подгонки модели синусоиды под реальные данные колебания центра тяжести движения человека

Результат

Вышесказанные подходы к анализу кривой центров тяжести были применены к массиву данных ЦТ взрослого здорового человека. На основе данных математических подходов была создана программа расчета параметров движения человека в форме протокола.

Заключение

В данной статье представлен подход, позволяющий автоматизировать процесс расчета параметров движения человека. Параметры походки человека позволяют формировать «портрет» походки человека. Такие «портреты» разных людей можно сравнивать и находить отклонения параметров, что может быть полезно при выявлении отклонений от нормы походки здорового человека и решения задач устранения этих отклонений. Это также полезно для анализа спортивных упражнений спортсменами и простыми людьми.

Литература

1. Катаев М.Ю. Численный метод и алгоритм определения центра тяжести движущегося человека из анализа потока изображений / М.Ю. Катаев, С.Г. Катаев // Доклады ТУСУР. – 2011. – Т. 2 (24), ч. 3. – С. 201–205.

2. Рабинович М.Ц. Пластическая анатомия человека, четвероногих животных и птиц. – М.: Юрайт, 2019. – 251 с.

3. Дубровский В.И., Федорова В.Н. Биомеханика: учеб. для вузов. – М.: ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. – 672 с.

4. Выделение паттернов движения на основе центра масс фигуры человека с использованием видеоизображений / М.Ю. Катаев, Н.Г. Катаева, Д.Н. Буинцев // Доклады ТУСУР. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 56–61.

Катаев Михаил Юрьевич

Д-р техн. наук, профессор
каф. автоматизированных систем управления (АСУ)
Томского государственного университета
систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36, +7-960-975-27-85
Эл. почта: kmy@asu.tusur.ru

Чернышов Илья Юрьевич

Студент, каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-960-976-56-32
Эл. почта: qasmoke123@mail.ru

УДК 681.518.22:004.932.2

Д.В. Дубинин, А.И. Кочегуров, В.Е. Лаевский (V. Geringer)

К вопросу разработки и совершенствования критериев оценки качества обработки изображений

Критерии качества – суть системы измерений. «If you can't measure it, you can't improve it.» – Peter Ferdinand Drucker. «Если вы не можете измерить это, вы не можете это улучшить», – было сказано одним из основоположников теории управления и администрирования. Цель оценки качества алгоритмов обработки изображений заключается в обеспечении контроля технических показателей работоспособности системы в целом или её отдельного функционального блока при условии снижения издержек, связанных с их настройкой и доводкой. Правильный подбор отдельных метрик обобщённого показателя качества для решения поставленных задач в той или иной предметной области является одним из ключевых шагов в процессе проведения оптимизации системы, обеспечивает возможность наиболее гибко подойти к проверке разрабатываемых алгоритмов, выявлению и устранению их недостатков функционирования.

Ключевые слова: стохастическое моделирование, цифровая обработка изображений, критерии качества, оценки эффективности, обобщённый показатель качества, бинарная классификация.

Создание высокоэффективных программно-аппаратных комплексов для проведения обзорных и обзорно-измерительных работ, мониторинга земной поверхности, геоинформационных систем и систем авионики в настоящее время определяет качественные направления развития авиационной и космической техники. Работа программных комплексов в ненормированных условиях, определяемых освещением, характеристиками датчиков и регистрирующих систем, отношением сигнал/шум, статистическими характеристиками шума, интервалами дискретизации, накладывает определённые требования к техническому уровню и качеству всех этапов выполнения работ [1]. В этих условиях оценка качества является достаточно сложной, комплексной задачей [2, 3], расчёты в решении которой зачастую приводят к значительным финансовым издержкам и проблемам достижения определённых этапов проектирования и реализации. Доработка унифицированной последовательности оценки и мониторинга качества, образующей чёткую систему тестирования и устранения недостатков отдельных функциональных блоков, является основополагающей задачей всех этапов проектирования и реализации. Такой подход позволяет достигнуть поставленную цель, создать эффективную систему, удобную для использования, обеспечивающую единство и достоверность измерений и мониторинга качества функционирования.

Цель работы и методы исследования

Для проведения качественной и количественной оценки системного комплекса необходимо выделить ряд основных показателей, которые являются основополагающими с точки зрения достижения системным комплексом основных технических характеристик. Цель этой статьи – показать возможные подходы к созданию эффективной унифицированной системы оценки качества обработки изображений и совершенствование критериев качества на её основе.

К основным методам исследования относятся методы эмпирического и теоретического уровня, такие как программирование, статистические подходы,

постановка и планирование эксперимента, имитационное моделирование, визуализация данных (функции, графики и т.п.), поиск и локализация контурного рисунка изображений, формальные представления систем и др. В качестве специальных методов использовался подход, базирующийся на идее постепенной формализации моделей и подходов к решению проблем путем поочередного использования средств и методов активизации интуиции специалистов, а также методов сбора, хранения и обработки информации.

Компьютерное моделирование проводилось при использовании операционной системы Windows 10 в среде «Delphi», валидация численных моделей, с использованием среды «Mathcad».

Формализация задачи

Формализацию задачи рассмотрим на примере разработки критерия качества выделения контурного рисунка изображения [4, 5]. Рассматривая обзор существующих методик оценивания качества обработки изображений, можно выделить два основных подхода: 1) объективная оценка качества обработки изображений; 2) оценка качества производится на основе субъективных оценок экспертов с применением различных методик, например посредством шкалы качества MOS (Mean opinion score).

У обоих подходов существует свой ряд недостатков и достоинств. Мы остановим свое внимание на объективных оценках качества обработки изображений, т.к. вычисления должны выполняться в реальном масштабе времени, а система должна справляться с последовательностью изображений, представляемой аппаратным комплексом.

Эталонные изображения были подготовлены в среде программного комплекса «КИМ СП» [7] на основе двумерного рекуррентного точечного потока восстановления и обладали различными морфологическими структурами. Принцип использования двумерного рекуррентного точечного потока восстановления гарантировал создание непрерывного контурного рисунка изображения и создавал предпосылки

для анализа качества детектирования отдельно взятых составных частей выделяемой границы [Новосибирск, с. 8 & ТРУ]. Свойства генерируемых эталонных изображений задавались α - ρ тогу оператором на этапе постановки и проведения эксперимента [7–9]. Генерация эталонных изображений с использованием рекуррентного точечного потока восстановления и формирование статистики искусственных эталонных изображений позволили реализовать принципы постановки эксперимента по Фишеру (принцип рандомизации). Посредством варьирования параметров модели вводилась шумовая составляющая с определённым законом распределения (при расчёте графиков использован нормальный закон) и заданным отношением с/ш.

Обработка полученных эталонных изображений различными типами операторов выделения контурного рисунка позволила получить α - ρ osteriori векторное описание прохождения контура определённой морфологической структуры изображения [10–12]. Анализ основных ошибок операторов поиска и локализации границ, а также определённых требований с точки зрения «функциональной эффективности» позволил сделать правильный выбор отдельных метрик обобщённого показателя качества и способствовал обеспечению контроля технических показателей работоспособности системы [13]. Сравнение α - ρ тогу полученного векторного описания с векторным описанием, полученным в ходе эксперимента, создаёт предпосылки для исследования, разработки и совершенствования отдельных объективных метрик.

Исследование обобщённых показателей качества, включающих различные метрики (например, функциональной эффективности и др.), и проведение бинарной классификации не представляют больших затруднений. Установление требований к определённому техническому уровню (анализ требований и проектирование, разработка модели, проведение эксперимента, и т.д.) и качеству заключительного этапа проведения эксперимента (проверка соответствия между численной моделью и её математической формализацией, наработка статистики, принципы оценки и анализа результатов и т.д.) позволяет разработать унифицированную последовательность, образующую чёткую систему тестирования, удобную для использования и обеспечивающую единство и достоверность измерений качества.

Результаты и рекомендации

Проводя сравнение всем известного показателя качества Прэтта (Pratt's Figure of Merit) [14], были получены завышенные значения этого критерия при малых отношениях с/ш (PSNR: Peak Signal-to-Noise Ratio). В работе Якорского [15] была показана возможность доработки позателя качества, предложенного Прэттом, и пути его дальнейшего развития. С нашей точки зрения, учёт ошибок за счёт локальных смещений, предложенный Прэттом (ошибка типа: LE – Localization error), и разорванных границ, предложенный Якорским (ошибка типа: OE – Ommision error), не в полной степени обобщают все виды ошибок. Поэтому мы предложили ввести ещё одну состав-

ляющую – по образцу и подобию показателя качества Прэтта, учитывающую смазывание или утолщение границ (ошибка типа MRE – multiples responses error). Обобщение трёх метрик производилось по мультипликативному принципу и было представлено в форме [4, 6]

$$MPFoM = FoM_{LE} \times FoM_{OE} \times FoM_{MRE}, \quad (1)$$

где MPFoM – модифицированный показатель качества Прэтта (Modification Pratt's Figure of Merit) (рис. 1).

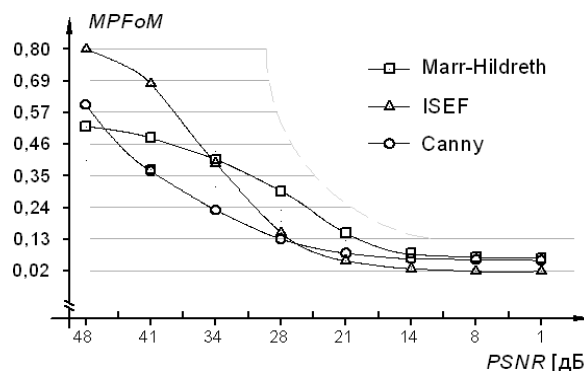


Рис. 1. Оценка качества контурного рисунка на основе модифицированного показателя качества Прэтта при различных отношениях с/ш

На основе проведения бинарной классификации [16] были оценены вероятности ошибок первого (рис. 2) и второго рода.

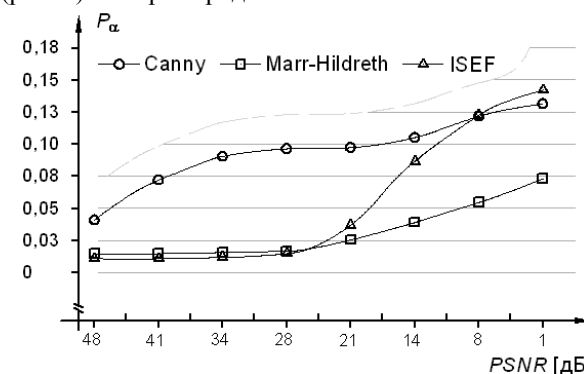


Рис. 2. Оценки вероятностей ошибок первого рода для различных операторов поиска и локализации границ при различных отношениях с/ш

Приведены оценки функции мощности для различных операторов поиска и локализации границ при различных отношениях с/ш (рис. 3).

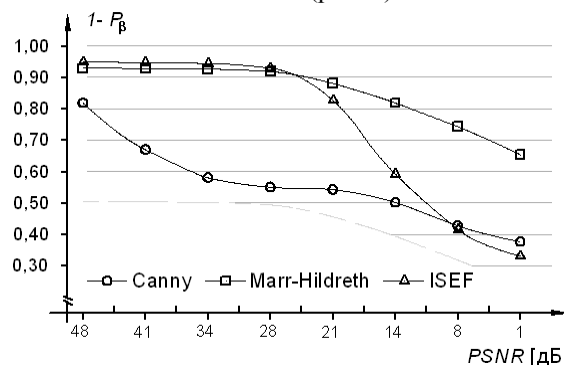


Рис. 3. Оценки функции мощности для различных операторов поиска и локализации границ при различных отношениях с/ш

Рассчитаны веса ошибок LE, OE, MRE. Определены усреднённые значения индексов Юдена (eng.: Youden's index) в зависимости от отношения с/ш для трёх различных операторов поиска и локализации границ.

В процесс измерений и мониторинга необходимо включать только те критерии качества, которые действительно имеют практическое значение. Обобщённый показатель качества желателен обобщать (обобщению подлежат все составляющие), исходя из положения «чем меньше – тем лучше». Отдельные составляющие обобщённого показателя качества не должны быть обоюдно зависимыми. Обобщённый показатель качества не должен иметь больше 4–5 метрик. Необходимо придерживаться качественного подхода при выборе весовых коэффициентов в случае аддитивного принципа формирования обобщённого показателя качества.

Заключение

Поэтапная интеграция обобщённых количественных оценок качества объединяет последовательность процессов, необходимых для достижения сформулированных целей и задач: 1) сбор и анализ информации об объекте моделирования; 2) выбор среды моделирования и определение свойств отдельных элементов функциональной модели; 3) проведение математической формализации модели (реализация модели среды); 4) создание численной модели эксперимента и проведение её верификации; 5) тестирование модели (общая валидация системы моделирования); 6) наработка статистики искусственных эталонных изображений с определёнными морфологическими и статистическими свойствами; 7) постановка и проведение эксперимента с последующим анализом результатов.

Корректный выбор составляющих (метрик) обобщённого показателя качества обеспечивает проведение детального анализа процесса поиска и локализации границ, позволяет наиболее гибко подойти к проверке разрабатываемых программно-аппаратных комплексов, выявлению и устранению их недостатков. А также на ранних стадиях проектирования позволяет выявлять наиболее приемлемые квазиоптимальные решения той или иной задачи, того или иного функционального решения.

Литература

1. Хелдман К. Профессиональное управление проектом. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 728 с.
2. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. – М.: Советское радио, 1975. – 224 с.
3. Magnie B., Abdulrahman H., Montesinos P. A Review of Supervised Edge Detection Evaluation Methods and an Objective Comparison of Filtering Gradient Computations Using Hysteresis Thresholds // J. Imaging. – 2018. – Vol. 4, No. 6. – P. 2–63.
4. Geringer V., Dubinin D., Kochegurov A. The Results of a Complex Analysis of the Modified Pratt-Yaskorskiy Performance Metrics Based on the Two-Dimensional Markov-Renewal-Process. – Springer: Lecture Notes in Computer Science, 2016. – Vol. 9875. – P. 187–196.

5. Кочегуров А.И. Оценка эффективности контурных детекторов на основе точечного потока восстановления / А.И. Кочегуров, Д.В. Дубинин, В. Герингер (В.Е. Лаевский), К. Райф // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2019. – № 3. – С. 204–216.

6. Денисов В.П. Результаты исследования комплексного метода оценки качества оконтуривания на основе двухмерного точечного потока восстановления / В.П. Денисов, Д.В. Дубинин, А.И. Кочегуров, В.Е. Лаевский (V. Geringer) // Вестник Сибирского гос. аэрокосмического ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. – 2015. – Т. 16, № 2. – С. 300–309.

7. Dubinin D., Geringer V., Kochegurov A., Reif K. Bundled Software for Simulation Modeling // Proceedings of the International Symposium on Signals, Circuits and Systems 2013, Romania, Iasi: ISSCS Press, 2013. – IEEE Catalog Number: CFP13816-CDR. – P. 1–4.

8. Дубинин Д.В., Кочегуров А.И., Лаевский В.Е. Методика моделирования случайных яркостных полей, аппроксимированных однородными, одноуровневыми марковскими цепями // Проблемы информатики. – 2011. – № 4 (12). – С. 35–40.

9. Дубинин Д.В. К статистике морфологии случайных пространственно-временных сигналов, сформированных двумерным точечным потоком восстановления / Д.В. Дубинин, А.И. Кочегуров, В.Е. Лаевский (V. Geringer) // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2012. – № 5. – С. 194–198.

10. Лаевский В.Е. Алгоритм построения одноуровневых марковских полей // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2006. – Т. 309, № 8. – С. 32–36.

11. Dubinin D., Geringer V., Kochegurov A. Eine Methode zur Erzeugung stochastischer Helligkeitsfelder durch homogene, einstufige Markoff-Ketten // Oldenbourg Wissenschaftsverlag, Technisches Messen. – 2012. – № 5. – P. 271–276.

12. Dubinin D., Geringer V., Kochegurov A., Reif K. Ein stochastischer Algorithmus zur Bildgenerierung durch einen zweidimensionalen Markoff-Erneuerungsprozess // Automatisierungstechnik, Oldenbourg Wissenschaftsverlag. – Band 62, Heft 1. – 2014. – P. 57–64.

13. Dubinin D., Geringer V., Kochegurov A., Reif K. An efficient Method to Evaluate the Performance of Edge Detection Techniques by a two-dimensional Semi-Markov Model // IEEE Symposium on Computational Intelligence in Control and Automation (CICA 2014), USA, Florida, Orlando, CICA: IEEE Press (DOI 10.1109/CICA.2014.7013248). – 2014. – P. 1–7.

14. Abdou W. Pratt, Quantitative Design and Evaluation of Enhancement / Thresholding Edge Detectors // Proceedings of the IEEE. – 1979. – Vol. 67, № 5. – P. 753–763.

15. Yaskorskiy A.V. Kriterii otsenki kachestva raboty detektorov konturov [Criteria for the performance evaluation of the edge detectors] // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 1987. – No. 3. – P. 127–128.

16. Старовойтов В.В. Сравнительный анализ оценок качества бинарной классификации / В.В. Старовойтов, Ю.И. Голуб // Информатика. – 2020. – Т. 17, № 1. – С. 87–101.

Дубинин Дмитрий Владимирович

Канд. техн. наук, доцент каф. радиоэлектроники и защиты информации Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: (0000-0003-4588-3778)
Тел.: +7 (382-2) 51-05-30
Эл. почта: dmitrii.v.dubinin@tusur.ru

Кочегуров Александр Иванович

Канд. техн. наук, доцент отд. информационных технологий
Инженерной школы информационных технологий
и робототехники Национального исследовательского
Томского политехнического университета
Ленина пр-т, 30, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 60-61-40
Эл. почта: kaicc@tpu.ru

Лаевский (V. Geringer)

Канд. техн. наук, зав. лаб. автомобильной электроники и
регенеративных источников энергии
Баден-Вюртембергского объединенного государственного
университета (DHBW – Ravensburg, Campus FN)
Фалленбрунен, 2, Фридрихсхафен, Германия, 88045
ORCID: (0000-0003-3743-3152)
Тел.: +49 (754-1) 207-75-15
Эл. почта: geringer@dhbw-ravensburg.de

УДК 004.912

А.А. Кравцов, К.А. Качалов, И.А. Крючков, С.С. Харченко

Оценка востребованности новостных источников. Верификация алгоритма схожести текстовой информации

Дан анализ по подбору самых востребованных источников информации. Проведен опрос среди пользователей и сделаны выводы об актуальных способах получения новостей. Приведены результаты верификации авторского алгоритма схожести текстовой информации. Сделаны выводы о дальнейшем развитии, определены задачи и цели развития идеи фильтрации новостного контента.

Ключевые слова: анализ, новость, алгоритм, опрос, контент, фильтрация, схожесть, социальная сеть.

Согласно исследованию PewResearchCenter [1] по состоянию на 2016 г., 62% пользователей сети интернет узнают новости, используя социальные сети. Исходя из этого, было принято решение использовать социальные сети в качестве платформы для будущего приложения, реализующего возможность скрытия повторяющихся новостных постов в ленте пользователя.

Определение часто используемых ресурсов для просмотра новостей

В ходе работы над реализацией программного обеспечения для фильтрации новостного потока с использованием авторского алгоритма определения схожести текста [2] возникла проблема в определении самых часто используемых ресурсов для просмотра новостной ленты.

Для решения данной задачи был проведен опрос с использованием Google Forms (рис. 1). В опросе были отмечены следующие сервисы:

1. ВКонтакте.
2. Одноклассники.
3. Instagram.
4. Twitter.
5. Telegram.
6. Facebook.
7. Pikabu.
8. Reddit.
9. Яндекс.Новости.

Новостная лента

Каким сервисом вы пользуетесь для просмотра новостной ленты?

ВКонтакте

Одноклассники

Instagram

Twitter

Telegram

Facebook

Pikabu

Reddit

Яндекс.Новости

Другое:

Отправить

Рис. 1. Форма опроса

В опросе приняли участие 258 человек в возрасте от 20 до 35 лет, где каждый мог выбрать любое количество социальных сетей, при помощи которых получает новостную информацию, а также предложить свой вариант. Результаты опроса приведены на рис. 2.

После проведения анализа результатов опроса, так как самыми популярными сервисами оказались «ВКонтакте», который был отмечен в 176 ответах из 258, Instagram (117 из 258), Telegram (51 из 258), «Одноклассники» (50 из 258), было принято решение проводить постепенную адаптацию программного обеспечения под данные социальные сети.

Верификация разработанного алгоритма

Для того чтобы убедиться в состоятельности разработанного алгоритма, перед разработкой на его основе приложения в виде плагина необходимо провести дополнительную проверку его работоспособности на другой выборке новостных данных. Для этого были снова собраны новости, отмечены заранее посты одной тематики, чтобы можно было объективно оценить точность алгоритма.

Всего было собрано 1 380 новостных постов, охватывающих 325 новостных тем. Среди них была часть одинаковых по теме новостей и часть разных, что было однозначно известно до начала тестирования. В результате средний процент схожести новостей одной тематики составил более 30%, а для новостей из разных тематик – менее 5%.

Выборка, на основе которой велась разработка алгоритма, состояла из 675 новостных постов, которые были сгруппированы по 210 тематикам. Результаты получились схожи – средний процент схожести новостей одной тематики составил более 29%, а для новостей из разных тематик – менее 4%. Результаты работы алгоритма с выборками приведены на рис. 3, 4 – размер выборки, время обработки, средний процент схожести новостей одной тематики, средний процент схожести новостей разной тематики и их дисперсии.

Данные результаты довольно показательны: разница в среднем между новостью одной тематики и другой более 25%. Это позволяет говорить об объективной дифференциации новостного потока на схожие и различные по содержанию новости.



Рис. 2. Результаты опроса

```
size of sample: 1380
function took 19040.118646621704 ms
average percentage right news: 32.56368217054262
average percentage wrong news: 4.393842305600887
dispersia percentage right news: 10.754252665578822
dispersia percentage wrong news: 2.7069482776461085
```

Рис. 3. Результаты проверки алгоритма на новой выборке

```
size of sample: 675
function took 11030.853033065796 ms
average percentage right news: 29.34409507923272
average percentage wrong news: 3.6475611200480587
dispersia percentage right news: 10.835566201483026
dispersia percentage wrong news: 2.2773480091959346
```

Рис. 4. Результат работы алгоритма на старой выборке

Telegram-бот

Решение для «ВКонтакте» уже реализовано в виде плагина для браузера [3]. Следующим было решено представить решение по фильтрации новостного контента в мессенджере Telegram. Для этого был создан телеграм-бот «RoobleBot» внутри которого пользователь подписывается на интересующие его каналы. Для того чтобы схожие новости из разных каналов не предлагались пользователю, в оболочку телеграм-бота был интегрирован ранее разработанный и проверенный алгоритм определения схожести новостного контента. Также был создан авто-

матизированный аккаунт, который будет подписываться на каналы и собирать из них новости в базу данных. Иллюстрации взаимодействия данного бота с пользователем представлены на рис. 5–7.

Второе место по популярности заняла социальная сеть Instagram, в которой новостной контент представлен чаще всего в виде изображений с нанесенным на них текстом или видео. Данная особенность требует иного подхода с точки зрения обработки новостного потока, поэтому решение этой проблемы будет основной задачей в дальнейшем.

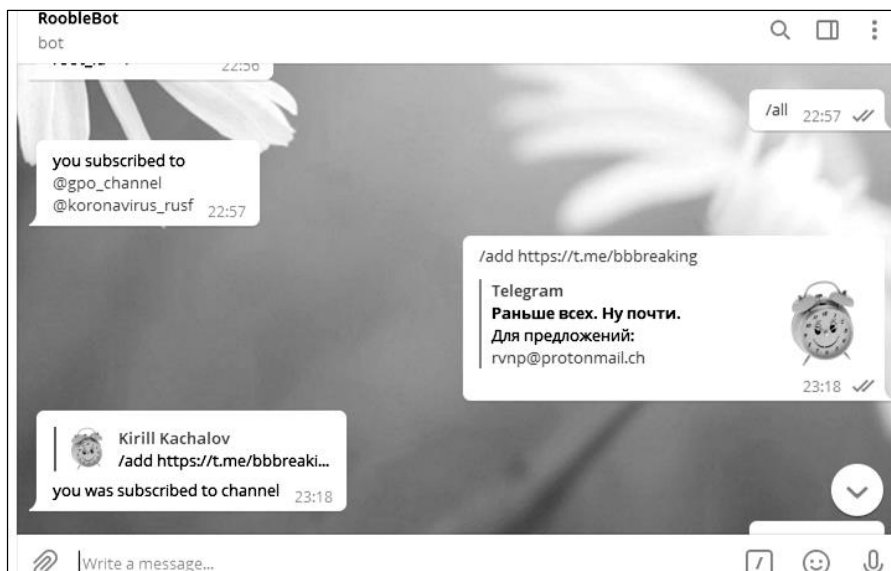


Рис. 5. Подписка на каналы

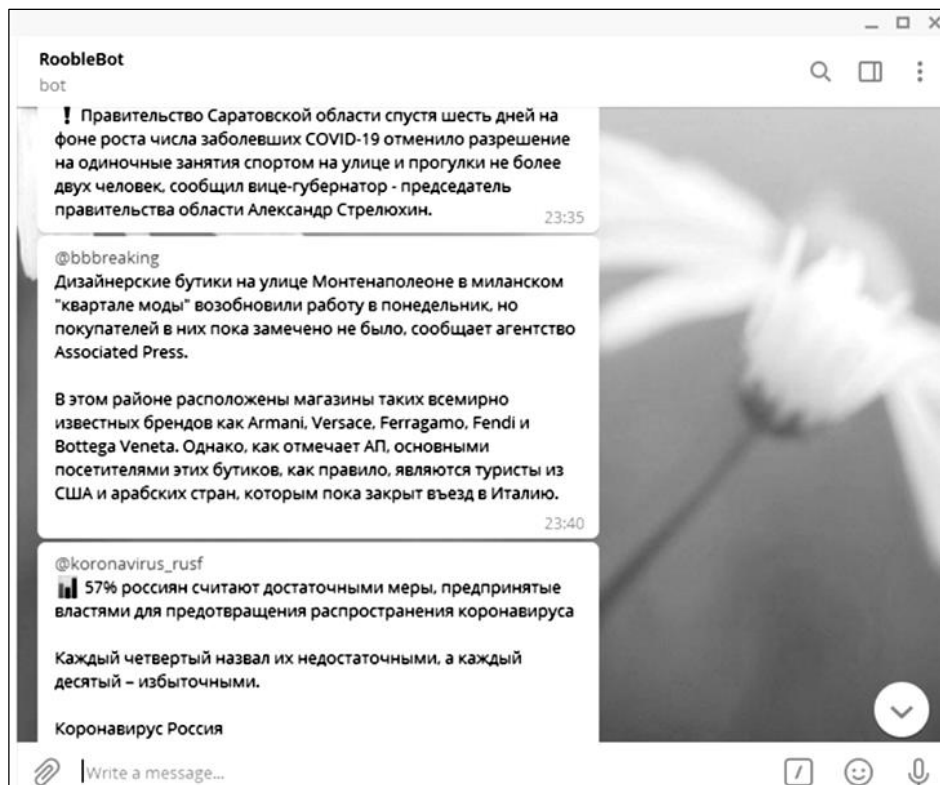


Рис. 6. Представление новостного контента пользователю

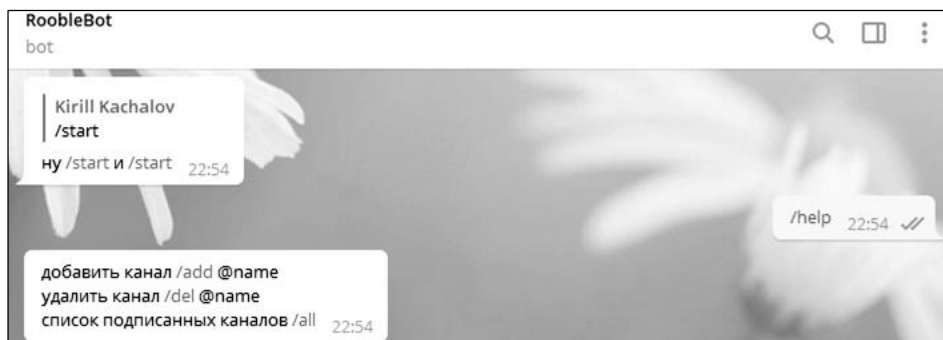


Рис. 7. Поддержка пользователя

Выводы

В ходе анализа востребованности различных интернет-ресурсов в качестве сервисов для просмотра новостей на основе голосования были определены самые востребованные (ВКонтакте, Instagram, Telegram, Одноклассники), что позволило определить направления дальнейшего развития идеи реализации авторского алгоритма определения схожести текстовой информации, который был успешно верифицирован.

Далее, был реализован плагин для самой востребованной социальной сети ВКонтакте и создан телеграм-бот «RoobleBot» для агрегации оригинальных новостей их различных каналов, на которые подписан пользователь. Это позволило решить проблему избыточности новостной ленты в первом и третьем по популярности ресурсе для получения новостной информации с точки зрения повторяющихся постов.

В перспективе развития идеи фильтрации новостного потока предстоит решить проблему извлечения текстовой информации из изображений или

реализовать непосредственное их сравнение. В качестве одного из базисов для работы с изображениями можно использовать алгоритм Tesseract-OCR [4]. На данный момент предпринято уже достаточно много исследований, посвященных попыткам добиться хороших результатов в распознавании рукописного текста с помощью OCR-систем, находящихся в открытом доступе.

Литература

1. Gottfried J., Shearer E. News Use Across Social Media Platforms // Pew Research Center [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://assets.pewresearch.org/wp-content/uploads/sites/13/2016/05/PJ_2016.05.26_social-media-and-news_FINAL-1.pdf
2. Кравцов А.А., Качалов К.А., Крючков И.А., Харченко С.С. Обработка и анализ новостных лент // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сб. науч. статей X Междунар. науч. конф. 30 ноября 2019 г. – Ч. 2. – Казань: ООО «Конверт», 2019. – С. 190–200.

3. Кравцов А.А., Качалов К.А., Крючков И.А., Программное обеспечение фильтрации новостного потока социальных сетей // Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2020», Томск, 25–27 мая 2020 г. – Томск, 2020.

4. Кондратьева А.А., Обзор Tesseract-OCR // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://nevenandr.net/nazirov/journal/2017_2_6_recognition.pdf (дата обращения: 17.05.2020).

Кравцов Антон Александрович

Студент каф. безопасности информационных систем (БИС) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: anton.kravczov.1998@mail.ru

Качалов Кирилл Андреевич

Студент каф. комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС) ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: mrokiriko@yandex.ru

Крючков Илья Андреевич

Студент каф. БИС ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: lqrkl@gmail.com

Харченко Сергей Сергеевич

Канд. техн. наук, доцент каф. БИС ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: kss@keva.tusur.ru

УДК 007.61, 681.3.01

И.В. Соловьева, А.Б. Кураков, Б.Р. Хаюмов

Разработка интерфейса программы определения параметров походки человека по видеопотоку

Рассматривается разработка интерфейса для программы, которая выделяет параметры походки человека из видеопотока, что несет в себе медицинскую и спортивную актуальность. Взаимодействие «человек – машина» становится неотъемлемой частью нашей жизни, элементом технологической культуры человечества, поэтому разработка интерфейса для программного обеспечения является важным этапом в выпуске продукта на рынок.

Ключевые слова: пользовательский интерфейс, походка человека, изображение.

Походка – это циклическая последовательность отдельных событий, т.е. циклические действия различных частей организма человека.

Период между первым соприкосновением одной ступни с поверхностью и следующим контактом этой же ступни является циклом походки.

Основные параметры походки: протяженность шага, протяженность двойного шага, длительность и частота движения, ритм движения, скорость, энергия и др. [1].

В данной статье приводится процесс разработки интерфейса программы, которая имеет ценность с медицинской и спортивной точки зрения. Программное обеспечение основано на получении параметров ходьбы человека по данным изменений положения центра тяжести фигуры человека, извлекаемых из обработки видео.

Пользовательский интерфейс – это «способ, выполняющий какую-либо задачу с помощью какого-либо продукта, а именно совершаемые вами действия и то, что вы получаете в ответ» [2].

Интерфейс характеризуется удобством, эффективностью и доступностью. Такой интерфейс обычно называют дружественным.

Он дает пользователю возможность более удобно взаимодействовать с программным обеспечением путем предоставления логичности и простоты в местоположении элементов управления [3].

Формирование у пользователя одинаковой реакции на одинаковые действия приложений и их согласованность являются одной из главных функций пользовательского интерфейса.

Постановка задачи

Для решения задачи разработки интерфейса была определена следующая последовательность операций:

1. Определить задачу программного обеспечения.
2. Исследовать предметную область.
3. Исследовать аудиторию и то, как она будет пользоваться конечным продуктом.
4. Создать макет продукта.
5. Создать прототип продукта.
6. Утвердить логику и функциональность прототипа.
7. Определить стилистику.
8. Создать дизайн-концепцию.
9. Оформить все окна.

Сначала необходимо определить задачу программного обеспечения, исследовать предметную область и аудиторию, то, как она будет пользоваться продуктом.

Задачей программы является извлечение параметров движения человека на основе видео. Исследование ходьбы человека связано с регистрацией характеристик тела (размеры, масса, фигура и др.) во время движения. Анализ полученных данных позволяет различать различные виды и характеристики передвижения, структуры систем движения, влияние одного движения мышц и суставов на другие и т.п.

Целевой аудиторией программного обеспечения преимущественно будут являться специалисты медицинского направления, занимающиеся такими патологиями, как детский церебральный паралич (ДЦП), сколиоз, болезнь Паркинсон, инсульт и т.д., т.к. они тем или иным образом влияют на походку человека.

В ответ на свое взаимодействие с интерфейсом пользователь должен получить данные параметров походки человека из видеопотока, которые позднее будут проанализированы специалистами.

Далее необходимо создать пользовательский сценарий, который определит список задач, которые может выполнять пользователь в рамках интерфейса.

Следующим шагом является прототипирование. Для начала следует создать макет будущего интерфейса и только потом прототип – набросок продукта, в котором заключены его внешний вид, логика работы и основная функциональность.

После утверждения прототипа определяется основная стилистика будущего интерфейса – цветовая гамма, какими будут кнопки и другие элементы, шрифт и т.д.

Как только желаемая стилистика определена, создается дизайн-концепция – скрещивание выбранного стиля и созданного прототипа.

Если дизайн-концепция утверждается, то наступает финальный этап – оформление всех окон программного обеспечения. Отметим, что нередко случается, когда в процессе работы дизайн-концепция претерпевает изменения ввиду того, что «вживую» некоторые моменты лучше выглядят или функционируют в другом виде.

В данной статье мы рассмотрим разработку не всех окон программы, а только главного, т.к. остальные окна вполне стандартны (окно авторизации, регистрации и т.д.).

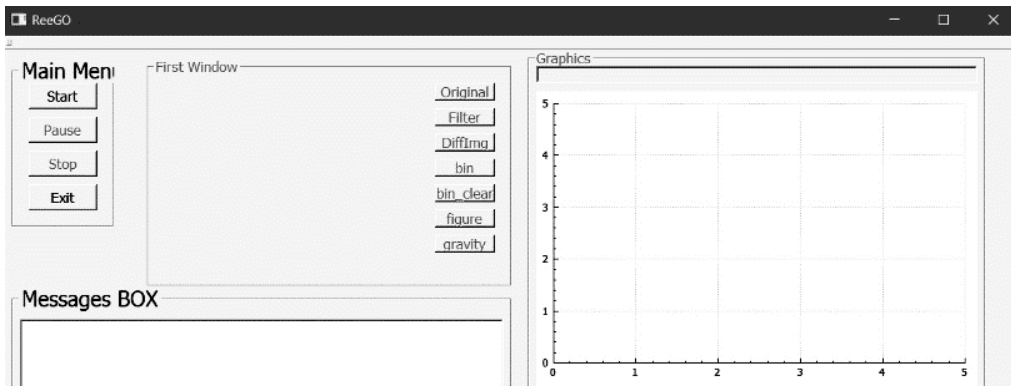


Рис. 1. Первый прототип главного окна

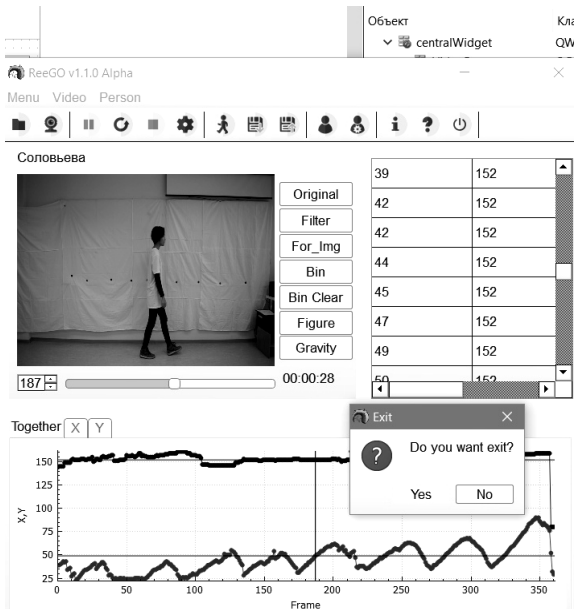


Рис. 2. Предыдущая финальная версия главного окна

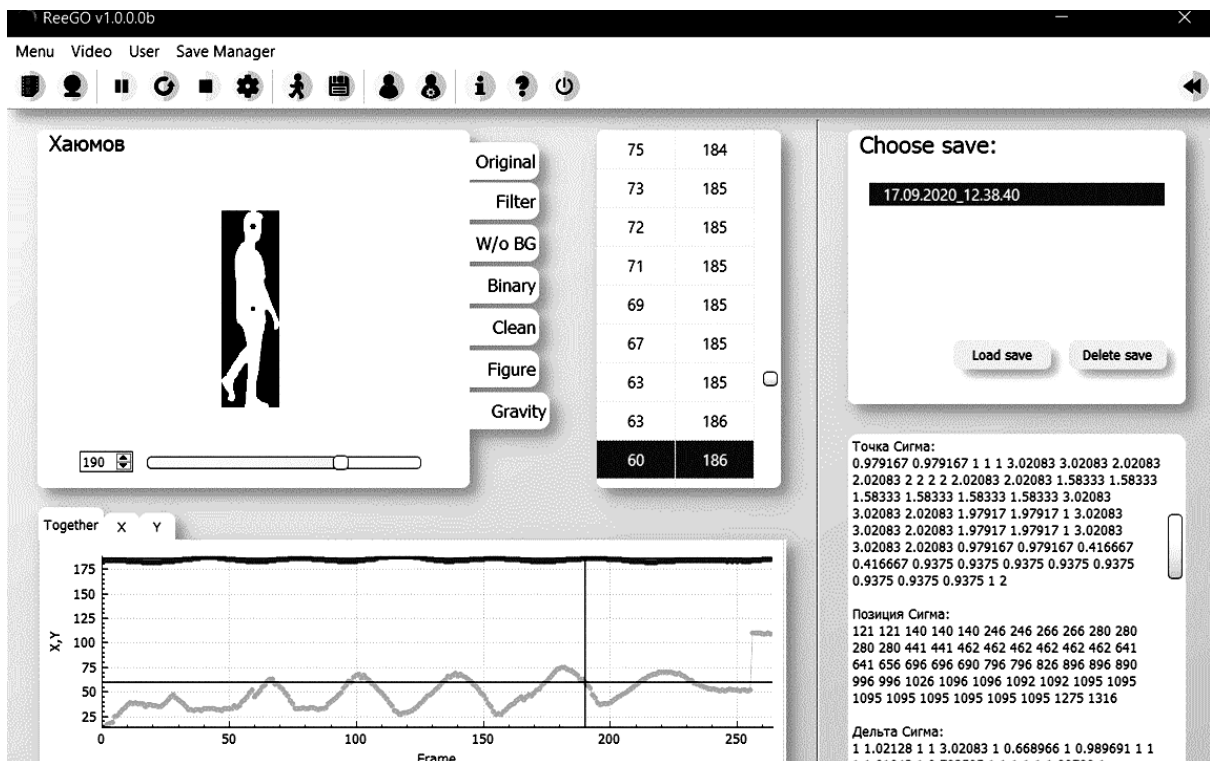


Рис. 3. Актуальная версия главного окна

Прототипы

Создание макетов производилось в простых программах вроде Paint или на листах бумаги. Прототипы же разрабатывались в среде Qt Designer (рис. 1).

На рис. 1 представлен один из начальных прототипов главного окна, в котором имеются основные функции управления видеопотоком – пуск, пауза, остановка и выход; функции смены типа отображаемых кадров – оригинальный, бинарный, чистый бинарный, фигура, с центром тяжести и т.д.; помимо этих функций, главное окно имело три окна для вывода информации – самих кадров, графика изменения центра тяжести и окно с сообщениями о проделанных действиях, которое позднее было исключено.

Дизайн-концепция

Для создания дизайн-концепции окон было опробовано несколько вариантов цветовой гаммы и общего стилистического решения – в итоге выбор пал на пастельные тона и минималистично-блочный стиль.

Стилизация была написана с помощью языка QSS – Qt Style Sheets, который во многом идентичен CSS – Cascading Style Sheets.

На рис. 2 показана одна из первых версий главного окна со стилями. Если сравнивать с прототипом на рис. 1, то можно заметить, что функционально и внешне они сильно отличаются. Появились панель быстрого доступа со множеством функций (открытия видео, включения веб-камеры, повтора обработки видео, настроек, пользовательских настроек, смены пациента, сохранения/загрузки обработанного видео, смены пользователя, вызова помощи т.д.), таблица с координатами центра тяжести пациента, ползунок для прокрутки видео.

Актуальная версия главного окна представлена на рис. 3. По сравнению с окном на рис. 2 окно также претерпело множество функциональных и внешних изменений. Основным внешним отличием, помимо цветовой гаммы, стало разбиение окна на светлые блоки для лучшего восприятия информации и ориентирования. Функционально добавился блок управления сохранениями (крайний справа сверху) и блок вывода протокола с данными в цифрах (крайний справа снизу). Описанные выше блоки можно скрыть с помощью кнопки сверху справа на панели быстрого доступа.

Заключение

В ходе работы был разработан дружелюбный интерфейс программы извлечения параметров походки человека из видеопотока с помощью свободной среды разработки графических интерфейсов Qt Designer и формального языка описания внешнего вида QSS.

Работа выполняется в рамках группового проектного обучения (ГПО) Томского государственного

университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР).

Литература

1. Катаев М.Ю. и др. Выделение паттернов движения на основе центра масс фигуры человека с использованием видеонизображений // Доклады ТУСУР. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 56–61.
2. Раскин Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем / пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2004. – 272 с.
3. Рагулин П.Г. Информационные технологии: электрон. учеб. – Владивосток: ТИДОТ ДВГУ, 2004. – 208 с.

Соловьева Ирина Валерьевна

Студентка каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-996-938-11-04
Эл. почта: eridiana.ru@gmail.com

Кураков Андрей Борисович

Студент каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36
Эл. почта: sniperaft@gmail.com

Хаюмов Бахтияр Русланович

Студент каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-952-683-50-09
Эл. почта: hrbakha@gmail.com

УДК 519.711.3:519.237

М.Д. Хо, С.В. Муравьев

Повышение точности оценки измеряемой величины на основе мультипликативных совокупных измерений

Предложены метод мультипликативных совокупных измерений (МСИ), соответствующий нелинейному случаю условных уравнений, и формулы для нахождения оценок значений искомых величин и их неопределенностей. Проведена экспериментальная апробация метода МСИ на примере мостовых измерений трех сопротивлений с целью уменьшения неопределенности оценок типа В, вызванной максимальной допустимой погрешностью используемых средств измерений. Результаты экспериментов показали, что предложенный метод мультипликативных совокупных измерений позволил уменьшить неопределенность типа В оценок значений искомых сопротивлений в 16,9–17,7 раза по сравнению с методом непосредственной оценки.

Ключевые слова: совокупное измерение, неопределенность типа В, мультипликативность.

Целью обработки результатов измерений является минимизация случайных и систематических составляющих погрешности окончательного результата измерений. Проведение многократных измерений одной и той же величины позволяет уменьшить только случайную составляющую погрешности или неопределенность типа А оценки значения величины. При этом систематическая составляющая погрешности в результатах измерений должна быть скорректирована до измерения [1]. Погрешности результатов измерений предполагаются независимыми и имеют одинаковую дисперсию, соответствующую случаю гомоскедастичности.

Влияние систематической составляющей можно снизить путем анализа уравнения измерения [2–4], выбора надлежащей методики измерений и расчета соответствующих поправок. При совокупных измерениях значения искомых измеряемых величин находят путем обработки результатов измерений других величин, значения у которых зависят от значения искомых измеряемых величин [5]. Совокупные измерения состоят из ряда прямых измерений (опытов) нескольких однородных величин, причем при переходе от одного ряда измерений к другому меняются сочетания измеряемых величин [6]. Вид функции (уравнений) связи между величинами может быть известен заранее или получен экспериментально. Количество уравнений обычно превышает количество искомых измеряемых величин. Эти уравнения называются условными [5] и могут быть линейными или нелинейными в зависимости от того, как организовано измерение.

Значения измеряемых величин в разных опытах различаются, что приводит к разным дисперсиям результатов измерений (это явление называется гетероскедастичностью) [5, 7]. Несовместность условных уравнений обусловлена различием систематических погрешностей результатов измерений в разных точках диапазона измерения. В этой ситуации систематическую погрешность измерения позволяют уменьшить совокупные измерения [5].

Точность результатов совокупных измерений зависит от числа условных уравнений: чем больше число независимых условных уравнений, связываю-

щих измеряемые величины, тем точнее результаты измерений. Однако число получаемых уравнений может быть ограничено числом всевозможных сочетаний определенного числа измеряемых величин [6].

Авторами в [8, 9] предложен метод аддитивных совокупных измерений (АСИ), который представляет собой случай линейных условных уравнений.

В данной работе предлагается расширение метода АСИ на случай мультипликативных совокупных измерений, когда условные уравнения нелинейны. Рассматривается применение предложенного метода к задаче уменьшения неопределенности типа В результатов измерений сопротивления, вызванной МДП цифрового средства измерения (СИ).

Мультипликативные условные уравнения

На практике встречаются случаи, когда условные уравнения совокупных измерений нелинейны. Одним из таких случаев является организация совокупных измерений, при которой измеряемые однородные величины комбинируются мультипликативно [10]. Предлагаемый нами подход к обработке таких измерений будем называть методом *мультипликативных совокупных измерений* (МСИ).

Пусть имеются n объектов o_1, \dots, o_n , характеризующихся однородными измеряемыми величинами X_1, \dots, X_n . Значения этих величин будем представлять в векторной форме $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$. Обозначим вектор значений измеряемых величин через $\mathbf{y}^* = (y_1^*, \dots, y_N^*)^T$ и вектор их результатов измерений через $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_N)^T$, диагональная взвешенная матрица для \mathbf{y} через $\mathbf{W}_y = \text{diag}[(u_{y_1}^{-2}, \dots, u_{y_N}^{-2})^T]$, где $u_{y_i}^2$ – выборочная дисперсия результатов измерения $y_i, i = 1, \dots, N, (\cdot)^T$ – транспонированная матрица.

Функции зависимостей значений измеряемых величин $y_i^*, i = 1, \dots, N$ от значений искомых измеряемых величин $x_j, j = 1, \dots, n$ имеют мультипликативную форму, т.е.

$$y_i^* = c_i \prod_{j=1}^n x_j^{k_{ij}}, \quad (1)$$

где c_i – известные коэффициенты, k_{ij} – известные элементы матрицы плана \mathbf{K} .

Разделяя обе части (1) на c_i и логарифмируя полученные уравнения, получаем

$$\ln(y_i^* / c_i) = \sum_{j=1}^n k_{ij} \ln(x_j). \quad (2)$$

Обозначим вспомогательные векторы через $\mathbf{q}^* = (q_1^*, \dots, q_N^*)^T$, $\mathbf{q} = (q_1, \dots, q_N)^T$, $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_n)^T$ и $\mathbf{c} = (c_1, \dots, c_N)^T$, где

$$q_i^* = \ln(y_i^* / c_i), \quad (3)$$

$$q_i = \ln(y_i / c_i), \quad (4)$$

$$\beta_j = \ln(x_j). \quad (5)$$

Тогда, система уравнений (2) эквивалента следующему выражению:

$$q_i^* = \sum_{j=1}^n k_{ij} \cdot \beta_j. \quad (6)$$

Из (4) следует, что выборочная дисперсия для некоторого q_i равна $u_{q_i}^2 = y_i^{-2} u_{y_i}^2$. Тогда диагональная взвешенная матрица для вектора \mathbf{q} имеет вид

$$\mathbf{W}_q = \text{diag} \left[(y_1^2 u_{y_1}^{-2}), \dots, (y_N^2 u_{y_N}^{-2}) \right]^T. \quad (7)$$

Применяя взвешенный метод наименьших квадратов (ВМК) к (6), получаем векторы оценок для $\boldsymbol{\beta}$ и \mathbf{q} и их ковариационные матрицы в следующем виде [11]:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{K}^T \mathbf{W}_q \mathbf{K})^{-1} \mathbf{K}^T \mathbf{W}_q \mathbf{q}, \quad (8)$$

$$\text{cov}(\hat{\boldsymbol{\beta}}) = (\mathbf{K}^T \mathbf{W}_q \mathbf{K})^{-1}; \quad (9)$$

$$\hat{\mathbf{q}} = \mathbf{K} (\mathbf{K}^T \mathbf{W}_q \mathbf{K})^{-1} \mathbf{K}^T \mathbf{W}_q \mathbf{q}, \quad (10)$$

$$\text{cov}(\hat{\mathbf{q}}) = \mathbf{K} (\mathbf{K}^T \mathbf{W}_q \mathbf{K})^{-1} \mathbf{K}^T. \quad (11)$$

Из (9), (10) векторы оценок значений искоемых измеряемых величин $\hat{\mathbf{x}} = (\hat{x}_1, \dots, \hat{x}_n)^T$, скорректированных результатов измерений $\hat{\mathbf{y}} = (\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_N)^T$ и их ковариационные матрицы $\text{cov}(\hat{\mathbf{x}})$, $\text{cov}(\hat{\mathbf{y}})$ вычисляются следующим образом [11]:

$$\hat{\mathbf{x}} = \exp^\circ \left[(\mathbf{K}^T \mathbf{W}_q \mathbf{K})^{-1} \mathbf{K}^T \mathbf{W}_q \mathbf{q} \right], \quad (12)$$

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{c} \circ \exp^\circ(\hat{\mathbf{q}}), \quad (13)$$

$$\text{cov}(\hat{\mathbf{x}}) = \text{diag}(\hat{\mathbf{x}}) \text{cov}(\hat{\boldsymbol{\beta}}) \text{diag}(\hat{\mathbf{x}}), \quad (14)$$

$$\text{cov}(\hat{\mathbf{y}}) = \text{diag}(\hat{\mathbf{y}}) \text{cov}(\hat{\mathbf{q}}) \text{diag}(\hat{\mathbf{y}}), \quad (15)$$

где $\exp^\circ(\cdot)$ – экспонента Адамара, $(\cdot) \circ (\cdot)$ – произведение Адамара двух матриц [12].

Неопределенности $u(\hat{x}_j)$ и $u(\hat{y}_i)$ оценок \hat{x}_j и \hat{y}_i , $i = 1, \dots, N$, $j = 1, \dots, n$ вычисляются как квадратные корни из j - и i -диагональных элементов матриц $\text{cov}(\hat{\mathbf{x}})$ и $u(\hat{y}_i)$ соответственно.

В следующем разделе будет рассмотрена экспериментальная апробация метода МСИ в задаче уменьшения неопределенности типа B , вызванной МДП СИ.

Уменьшение неопределенности типа B методом МСИ

Согласно [13], каждый результат измерения характеризуется значением Δ_d , равным максимальной допустимой погрешности (МДП), и погрешностью

показания Δ_n , имеющей равномерное распределение [14]. Таким образом, свидетельство о калибровке гарантирует, что погрешность Δ_n , включающая систематическую и случайную составляющие, находится в пределах $\pm \Delta_d$ (рис. 1).

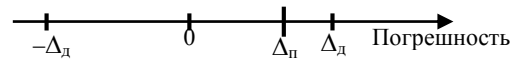


Рис. 1. Погрешности Δ_d и Δ_n

В соответствии с руководством [14] оценку неопределенности результата измерения типа B получают путем анализа всей доступной информации о возможной вариативности измеряемой величины. Эта информация включает данные из свидетельства о калибровке или паспорта прибора. Таким образом, неопределенность результатов измерений, вызванная МДП средства измерения, считается составляющей неопределенности типа B и определяется по формуле

$$u_B = \Delta_d / \sqrt{3}. \quad (16)$$

Рассмотрим применение предложенного в предыдущем разделе метода МСИ к задаче уменьшения неопределенности результата измерения типа B окончательных результатов оценок значений измеряемых величин. Пусть имеются три резистора R_1 , R_2 и R_3 , значения сопротивлений x_1 , x_2 и x_3 которых нужно оценить.

Номинальные значения сопротивлений резисторов R_1 , R_2 и R_3 были выбраны равными 4420, 1100 и 1000 Ом соответственно. Прецизионные резисторы R_1 и R_2 были типа С5-54 с наибольшей мощностью 0,125 Вт и ТКС $\pm 10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, а R_3 – катушка электрического сопротивления измерительная Р331, имеющая наибольшую допустимую мощность 1 Вт. Класс точности всех резисторов – 0,01.

Для нахождения оценок значений сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 были применены методы непосредственной оценки (МНО) и МСИ. При каждом опыте измеряемая величина измерялась однократно мультиметром АМ-1097.

При использовании МНО, сопротивления резисторов R_1 , R_2 , R_3 измерялись непосредственно мультиметром. Полученные результаты измерений, включающие погрешности, считались оценками значений сопротивлений x_1 , x_2 и x_3 .

При использовании МСИ оценки сопротивлений измерительным мостом резисторов R_1 , R_2 , R_3 были получены путем обработки результатов измерений с применением мостовой схемы [15]. При этом проведено три измерения (опыта), соответствующие мостовые схемы приведены на рис. 2.

В каждом опыте три сопротивления R_1 , R_2 и R_3 были включены в плечи мостовой цепи, а в роли регулируемого плеча R_{ci} , $i = 1, 2, 3$ использовался калибратор Fluke 5520A. В качестве гальванометра G использовался модуль мультиметра National Instruments NI PXI-4072, который позволяет измерять малые токи. Для формирования напряжения постоянного тока $U = 5,25$ В использовался генератор АWG-4110.

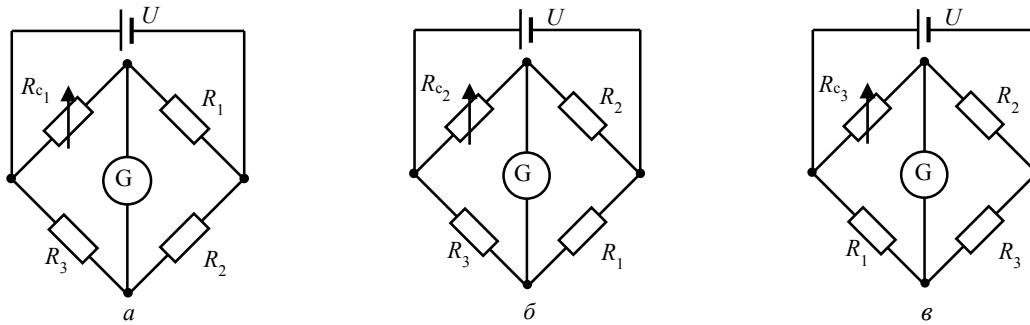


Рис. 2. Схемы измерений измерительным мостом

В каждом опыте мост уравнивался путем регулировки R_{ci} с помощью калибратора Fluke до достижения нулевого значения тока, протекающего через гальванометр.

Обозначим вектор значений сопротивлений R_{ci} , $i = 1, \dots, 3$ при уравнивании моста через $\mathbf{y}^* = (y_1^*, y_2^*, y_3^*)^T$ и вектор результатов их измерений через $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_3)^T$. Тогда получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} y_1^* = x_1 x_2^{-1} x_3, \\ y_2^* = x_1^{-1} x_2 x_3, \\ y_3^* = x_1 x_2 x_3^{-1}. \end{cases} \quad (17)$$

Очевидно, что система (17) является частным случаем (1). При этом, $\mathbf{c} = (1, 1, 1)^T$, а матрица плана \mathbf{K} имеет вид

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Результаты измерений y_i получены с учетом поправки на сопротивление щупов. Неопределенности u_{y_i} вычислялись по (16). Данные эксперимента сведены в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные, полученные двумя методами

i	МНО		МСИ	
	y_i , Ом	u_{y_i} , Ом	y_i , Ом	u_{y_i} , Ом
1	4419,65	2,71	4018,36	0,21
2	1099,65	1,06	249,04	0,03
3	999,75	1,01	4862,18	0,24

Результаты расчета вектора оценок значений искомых сопротивлений $\hat{\mathbf{x}}$ и ковариационной матрицы $\text{cov}(\hat{\mathbf{x}})$, полученных методом МСИ, представлены в табл. 2.

Для каждого метода обозначим вектор номинальных значений трех резисторов R_1, R_2 и R_3 через $\mathbf{x}^* = (4400, 1100, 1000)^T$ Ом, а вектор абсолютных отклонений вектора $\hat{\mathbf{x}}$ от его номинального вектора \mathbf{x}^* через $\boldsymbol{\xi} = (\xi_1, \dots, \xi_3)^T$, где $\xi_j, j = 1, \dots, 3$ вычисляются следующим образом:

$$\xi_j = |\hat{x}_j - x_j^*|. \quad (19)$$

Таблица 2

Значения вектора $\hat{\mathbf{x}}$ и матрицы $\text{cov}(\hat{\mathbf{x}})$, полученные методом МСИ

$\hat{\mathbf{x}}$, Ом	МСИ		
		4420,25	1100,22
$\text{cov}(\hat{\mathbf{x}})$	$2,52 \times 10^{-2}$	$2,86 \times 10^{-3}$	$3,11 \times 10^{-3}$
	$2,86 \times 10^{-3}$	$4,27 \times 10^{-3}$	$3,24 \times 10^{-3}$
	$3,11 \times 10^{-3}$	$3,24 \times 10^{-3}$	$3,64 \times 10^{-3}$

В табл. 3 для сравнения показаны отклонения $\xi_j, j = 1, \dots, 3$ и неопределенности $u(\hat{x}_j)$ искомых сопротивлений, полученные методом МСИ, с результатами, полученными МНО.

Таблица 3

Сравнение отклонений и неопределенностей искомых сопротивлений, полученных различными методами

	x_j^* , Ом	МНО		МСИ	
		ξ_j , Ом	$u(\hat{x}_j)$, Ом	ξ_j , Ом	$u(\hat{x}_j)$, Ом
R_1	4420	0,35	2,71	0,25	0,16
R_2	1100	0,35	1,06	0,22	0,07
R_3	1000	0,25	1,01	0,23	0,06

Из табл. 3 видно, что метод МНО дает довольно большие значения неопределенностей и отклонений оценок искомых сопротивлений. Метод МСИ дает лучшие результаты, т.к. полученные значения оценок искомых сопротивлений наиболее близки к их номинальным значениям. Неопределенности оценок искомых сопротивлений, полученные методом МСИ, в 16,9–17,7 раза меньше неопределенностей метода МНО.

Заключение

Предложены метод МСИ, соответствующий нелинейному случаю условных уравнений, и формулы для нахождения оценок значений искомых величин и их неопределенностей.

Проведена экспериментальная апробация метода МСИ с помощью мостовых измерений в задаче снижения неопределенности типа В, вызванной МДП СИ, окончательных результатов измерения сопротивления.

Экспериментальные результаты показали, что метод МСИ позволяет снизить неопределенности оценок значений искомых сопротивлений в 16,9–17,7 раза по сравнению с методом непосредственной оценки.

Работа поддержана Российским научным фондом, проект № 18-19-00203.

Литература

1. Долинский Е.Ф. Обработка результатов измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 192 с.
2. Muravyov S.V. Model of procedure for measurement result error correction // Proceedings of the XVI IMEKO World Congress. September 25–28, 2000, Vienna, Austria. – Vol. 5. – P. 135–139.
3. Muravyov S.V., Savolainen V. Discrete-mathematical approach to formal description of measurement procedure // Measurement. – 1996. – Vol. 18, No. 2. – P. 71–80.
4. Muravyov S.V., Savolainen V. Some structural properties of formal model of measurement procedure // Measurement. – 1996. – Vol. 18, No. 2. – P. 81–87.
5. Rabinovich S.G. Evaluating Measurement Accuracy. A Practical Approach. – New York: Springer, 2013. – 313 p.
6. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс. – СПб.: НПО «Профессионал», 2008. – 284 с.
7. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 432 с.
8. Ho M.D., Muravyov S.V. Accuracy enhancement of measurand estimate on the base of additive combined measurements // Sensor Review. – 2020. – Vol. 40, No. 3. – P. 377–383.
9. Повышение точности оценки измеряемой величины на основе аддитивных совокупных измерений / Минь Дай Хо, С.В. Муравьев // Электронные средства и системы управления: матер. докл. XV Междунар. науч.-практ. конф. – Томск: ТУСУР, 2019. – Ч. 2. – С. 69–73.
10. Muravyov S.V., Zlygosteva G.V., Borikov V.N. Multiplicative method for reduction of bias in indirect digital measurement result // Metrology and Measurement Systems. – 2011. – Vol. 18, No. 3. – P. 481–490.
11. JCGM 102:2011. Evaluation of measurement data – Supplement 2 to the «Guide to the expression of uncertainty in measurement» – Extension to any number of output quantities / Joint Committee for Guides in Metrology, 2011. – 72 p.
12. Roger A.H., Charles R.J. Matrix Analysis. – Second Edition. – New York: Cambridge University Press, 2013. – 643 p.
13. OIML G 19:2017 (E). The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology / International Organization of Legal Metrology, 2017. – 72 p.
14. JCGM 100:2008. Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement / International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission, Switzerland, 2008. – 120 p.
15. Панфилов В.А. Электрические измерения. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 288 с.

Хо Минь Дай

Аспирант отд. автоматизации и робототехники (ОАР)
Томского политехнического университета (НИ ТПУ)
Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-952-896-26-69
Эл. почта: minh dai2410@gmail.com

Муравьев Сергей Васильевич

Д-р техн. наук, профессор ОАР НИ ТПУ
Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-17-77 доб. 27-76
Эл. почта: muravyov@tpu.ru

УДК 621

А.Б. Кураков, Б.Р. Хаюмов, Г.А. Волокитин, М.Ю. Катаев

Исследование влияния морфологических преобразований бинарного изображения фигуры человека в задаче контроля параметров походки

Приводится подробное описание функций выделения, прямо влияющих на целостность формы фигуры человека при обработке изображений. Существует множество алгоритмов нахождения фигуры человека на изображении, однако многие из них в той или иной степени выдают недостаточную точность в полученной фигуре, а целостность фигуры непосредственным образом влияет на изучение человеческих параметров. Изучение результатов этих операций дает возможность получить более точные координаты центра масс человека.

Ключевые слова: изображение, методы обработки, центр масс, походка человека.

Ходьба – это периодический процесс скоординированной деятельности мышц всего тела. Нарушение ходьбы может быть вызвано определенными проблемами в деятельности организма, позволяющими организовать периодический процесс. В любом случае, анализ процесса ходьбы предоставляет много диагностических признаков, необходимых для медицинских работников, охраны, спорта и других сфер жизни.

Исследование ходьбы человека связано с регистрацией характеристик тела (размеры, масса, фигура и др.) во время движения. Анализ полученных данных позволяет различать различные виды и характеристики передвижения, структуры систем движения, влияния одного движения мышц и суставов на другие и т.п. Важная характеристика движения – кинематическая: мера положения и перемещения человека в пространстве и времени. Параметры кинематической характеристики позволяют выявлять особенности движений и их изменения во времени.

Для решения задач диагностики двигательной активности человека необходимо располагать информацией, получаемой с помощью соответствующей техники. Извлечение необходимых параметров из полученных данных требует разработки математических моделей и программно-алгоритмических комплексов.

Для различных практических приложений необходимо анализировать походку в нормальном состоянии, например в спорте, и отклонения от нормы при различных заболеваниях и травмах человека. Среди всех способов запечатления походки человека оптический с помощью цифровых RGB-камер подход является наиболее популярным. Этот подход связан с такими этапами: получение изображения, предварительная, тематическая обработка и анализ. Важным элементом предварительной обработки является выравнивание фигуры человека, возникающей на черно-белом изображении, после пороговой сегментации цветного изображения.

Выравнивание формы фигуры человека напрямую связано с качеством анализа его походки. Данный анализ предназначен для изучения ходьбы человека, направленный на количественную оценку и осознание всех элементов и этапов процесса передвижения. Приоритетные цели вышеупомянутых исследований связаны с возможностью, во-первых, восстановления

пациентов с присутствием нарушений походки, полученных при заболеваниях или травмах, и, во-вторых, расширить знания и понимание человеческой походки для дальнейшего использования в спорте, народном хозяйстве и других направлениях жизнедеятельности человека. Форма фигуры человека непосредственно влияет на корректное определение центра тяжести человека и последующую обработку полученных результатов. Важнейшим этапом является выделение фигуры из входящего видеопотока с последующим выравниванием формы фигуры человека.

Для решения задачи выделения фигуры человека в потоке изображений предлагается последовательность действий, направленная на более точное и качественное выделение фигуры. Однако нельзя отрицать тот факт, что на выделение фигуры человека из потока изображений могут повлиять различные природные и техногенные факторы, такие как погодные условия, освещение и т.д. В связи с этим необходимо учитывать разные варианты фонов и применять разные методики.

Для того чтобы добиться наилучшего выделения с помощью цифровой камеры, зададим необходимые условия: устойчивое и яркое освещение, статичный и однородный фон. Камера должна также соответствовать ряду условий: минимальное разрешение съемки 640×480 пикселей, минимальное количество кадров в секунду 30. Также стоит отметить, что по построенной сцене человек может передвигаться по-разному, поэтому необходимо также установить условия для передвижения человека по сцене.

Рассмотрим пример, где человек должен передвигаться вдоль стены при нормальном немерцающем освещении, направленном сверху, чтобы тень, которую оставляет человек, составляла минимальный размер. Цифровая камера должна быть расположена примерно в трех метрах от построенной сцены. Передвижение человека происходит от одного края сцены до другого и должно включать от 4 до 5 шагов каждой ногой [1]. На основе сформированной сцены и полученного видеопотока можно применять определенную последовательность действий, которая способствует качественному и более точному выделению фигуры человека. Рассмотрим данные действия в последовательности их выполнения:

1. Получение кадра.
2. Коррекция шумов и яркости.
3. Вычитание статического фона и бинаризация.

Вышеупомянутая последовательность успешно выделит фигуру, однако из-за несовершенства современных цифровых камер избавиться от шума полностью практически невозможно, тем не менее только данный фактор влияет на появление шумов. Для удаления шумов в бинарном изображении используются морфологические преобразования. Именно при помощи данных преобразований происходит восстановление формы фигуры в полученном кадре.

Далее приводится описание основных этапов выделения фигуры человека и ее выравнивание в бинарном изображении.

Выделение фигуры человека из видеопотока

Для реализации была выбрана визуальная среда разработки Qt с использованием широко используемого языка программирования C++ и открытой библиотеки OpenCV. После получения изображения из видеопотока приоритетным действием является сделать коррекцию шумов и яркости. Цифровой шум на изображении проявляется в виде расположенных случайным образом элементов точек, по размеру близких к размерам пикселя. Для того чтобы решить данную проблему, часто используется довольно известная методика под названием «Серый мир». Данный алгоритм приводит каждый кадр из видеопотока к одинаковым условиям яркости относительно первого кадра. Задаётся с помощью следующих соотношений [2, 3]. Пусть $I(x, y)$ – это изображение, $I().size().area()$ – это площадь данного изображения: произведение длины на ширину. А $I().size()$ его размер. Вычислим средний цвет для каждого из каналов и общий для всех каналов по нижеприведенной формуле:

$$R' = \frac{\sum_{i=1}^{I.size()} R_i}{I.size().area()}, \quad G' = \frac{\sum_{i=1}^{I.size()} G_i}{I.size().area()},$$

$$B' = \frac{\sum_{i=1}^{I.size()} B_i}{I.size().area()}, \quad (1)$$

Среднее значение по всем каналам будет следующим:

$$S = \frac{1}{3}(R' + G' + B'). \quad (2)$$

Впоследствии значение каждого пикселя изменится таким образом:

$$R_i = \frac{S}{R'}, \quad G_i = \frac{S}{G'}, \quad B_i = \frac{S}{B'}. \quad (3)$$

После корректировки шумов и яркости следующим важным этапом идет вычитание фона с последующей бинаризацией. Вычитание фона является распространенным и широко используемым методом для создания маски переднего плана (двоичного изображения, содержащего пиксели, принадлежащие движущимся объектам в сцене) с помощью непо-

движных камер. Вычисляется маска переднего плана через вычитание между текущим кадром и фоновой моделью, содержащей статическую часть сцены или, в более общем случае, все, что можно считать фоном с учетом характеристик наблюдаемой сцены. Фоновое моделирование состоит из двух основных этапов: фоновая инициализация (вычисление исходной модели фона); обновление фона (модель обновляется для адаптации к возможным изменениям в сцене).

Алгоритм, используемый в данной работе: BackgroundSubtractorMOG2. Это алгоритм сегментации фона/переднего плана на основе гауссовой смеси. Важная особенность этого алгоритма заключается в том, что он выбирает соответствующее число гауссовских распределений для каждого пикселя. Это обеспечивает наилучшую адаптацию к различным сценам из-за изменений освещения и т.д. [4].

Выравнивание формы фигуры человека

Морфологические преобразования применяются для извлечения некоторых свойств изображения, полезных для его представления и описания. Например, контуров, остовов, выпуклых оболочек. Также интерес представляют морфологические методы, применяемые на этапах предварительной и итоговой обработки изображений. Например, морфологическая фильтрация, утолщение или сужение.

Входными данными для морфологии являются два изображения: обрабатываемое и специальное. Специальное изображение принято называть структурным элементом. Структурный элемент намного меньше обрабатываемого изображения, обычно используют размеры 3×3 , 5×5 пикселей. Главной идеей морфологической обработки является поиск на бинарном изображении необходимых объектов, которые описываются структурным элементом, и в процессе обработки можно отметить или удалить искомым объектам на всем изображении. Главным преимуществом морфологической обработки является ее простота, так как на входе и выходе процедуры мы получаем бинарное изображение, в то время как других методах сначала получают полутоновое изображение, которое приводится к бинарному с помощью пороговой функции.

Основными функциями морфологических преобразований в OpenCV являются dilate и erode. Dilate – данная функция растягивает (операция расширения) изображение с применением фильтра (ядра) необходимое количество раз (изображение формируется из локальных максимумов, т.е. будут увеличиваться светлые области). Растягивание (расширение), также устраняет шум и способствует объединению областей изображения, которые были разделены шумом, тенями и т.д. Применение же небольшого растягивания в последствии объединит эти области в одну [3, 6]. Erode (эрозия) – размывает (операция сужения) изображение с использованием фильтра (ядра) один или несколько раз (изображение формируется так же, как и по предыдущему методу, только из локальных минимумов, т.е. будут увеличиваться темные области). Эрозия изображения обычно используется для удаления случайных вкраплений на изображении.

Идея состоит в том, что вкрапления при размытии устраняются, тогда как крупные и соответственно более визуальнo-значимые регионы остаются [3, 6].

Результаты

Описанный выше алгоритм был применён к обработке видеозаписи. На рис. 1 представлено бинаризованное изображение с формой фигуры человека без примененных к ней морфологических преобразований (слева) и после применения таких преобразований.



Рис. 1. Выделенная фигура без и с морфологическими преобразованиями

Как можно заметить, в форме фигуры человека присутствуют пустоты, которые заполняются при применении морфологических преобразований (см. рис. 1, справа). Можно отметить, что большинство полостей исчезли и форма фигуры стала выглядеть более естественнее. Выравнивание фигуры также способствовало повышению качества полученных данных центра тяжести. На рис. 2 представлен график изменения центра тяжести человека во время походки без применения морфологических преобразований.

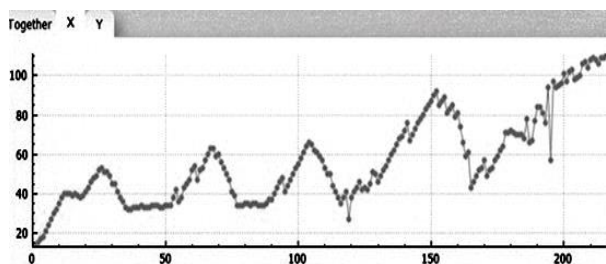


Рис. 2. График изменения центра тяжести человека во время походки без применения морфологических преобразований

На рис. 3 представлен график изменения центра тяжести человека во время походки после применения морфологических преобразований.

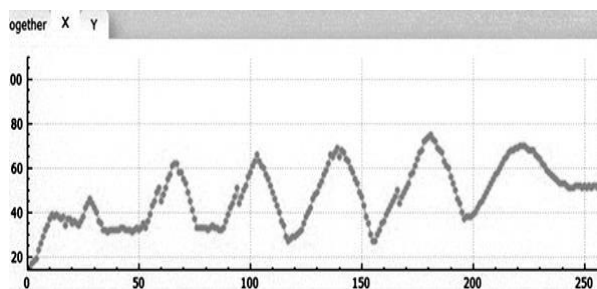


Рис. 3. График изменения центра тяжести человека во время походки после применения морфологических преобразований

Заключение

В данной статье было рассмотрено влияние морфологических преобразований на целостность формы фигуры человека, а также проанализировано влияние её на определение центра тяжести человека. Рассмотренный подход позволит получать более точные бинарные изображения с выделенными фигурами, что способствует более глубокому анализу походки человека.

Данная работа выполнялась в рамках проекта ГПО АСУ-1902 «Параметры походки человека» и при поддержке Фонда содействия инновациям в рамках программы «УМНИК».

Литература

1. Катаев М.Ю. и др. Выделение паттернов движения на основе центра масс фигуры человека с использованием видеоизображений // Доклады ТУСУР. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 56–61.
2. Захаров Р.К. Методы повышения качества изображений в задачах распознавания // Современные научные исследования и инновации. – 2012. – № 8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2012/08/16488> (дата обращения: 10.09.2020).
3. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV Computer Vision with OpenCV Library. – O' Reilly Media Publishers, 2008. – 571 p.
4. How to Use Background Subtraction Methods [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.opencv.org/3.4/d1/dc5/tutorial_background_subtraction.html (дата обращения: 10.09.2020).
5. Morphological Transformations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.opencv.org/trunk/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html (дата обращения: 11.09.2020).
6. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман; пер. с англ. – 2-е изд. (эл.). – М.: БИНОМ, 2013. – 752 с.

Кураков Андрей Борисович

Студент каф. автоматизированных систем управления (АСУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-913-113-58-02
Эл. почта: sniperaft@bk.ru

Хаюмов Бахтияр Русланович

Студент каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-952-683-50-09
Эл. почта: h.r.baha@gmail.com

Волокитин Геннадий Александрович

Студент каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-999-495-50-42
Эл. почта: kolesolek97@gmail.com

Катаев Михаил Юрьевич

Д-р техн. наук, профессор каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36, +7-960-975-27-85
Эл. почта: kmy@asu.tusur.ru

УДК 621.396.41

М.Ю. Катаев, А.Е. Кохонов

Описание структуры программы оценки отклонений формы электрокардиосигнала с помощью нейросетевого подхода

Рассматривается вопрос диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы на основе анализа данных электрокардиограммы (ЭКГ). Данная область является сложной и междисциплинарной, к тому же объем данных о здоровых людях значительно меньше такового о больных, что добавляет вопросу дополнительную сложность. Предлагается новая методика анализа сигнала ЭКГ, основанная на нейросетевом подходе. Разрабатываемая методика позволит значительно ускорить и упростить получение достоверных предварительных данных о состоянии сердца и облегчить работу подготовленных профессионалов кардиологии.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, электрокардиограмма, сигнал, анализ, нейронные сети.

Сердечно-сосудистая система играет решающую роль в поддержании жизни организма, сбои в ее работе, а также заболевания лидируют в мировом списке причин смертности.

Диагностика состояния сердечно-сосудистой системы является ключевым фактором как для выбора лечения, так и для профилактики. Однако, несмотря на высокий уровень развития средств диагностики, получение достоверных данных без помощи профессионала-кардиолога до сих пор практически невозможно. Тогда как с точки зрения лечащего врача или специалиста функциональной диагностики задача оценки общего состояния организма в отсутствие каких-либо симптомов приобретает дополнительную сложность. Принимая во внимание этот факт, можно увидеть, что более актуальным становится создание методов, позволяющих выявлять различные функциональные состояния даже без явных симптомов заболевания сердечно-сосудистой системы. При этом по понятным причинам доступных данных по больным, чьи характеристики ЭКГ (рис. 1) имеют отклонения, несоизмеримо больше, нежели данных по здоровым или «условно здоровым» людям, что также значительно затрудняет диагностику.



Рис. 1. Пример записи трех каналов ЭКГ

Работа сердца характеризуется цикличностью и системностью и реализуется на ЭКГ как повторяющаяся последовательность топологически одинаковых кардиоциклов, повторяющихся во времени. При представлении данных кардиоциклов в прямоугольную систему координат возможно охарактеризовать каждый интервал сигнала амплитудой и продолжительностью зубца R, т.е. сформировать амплитудно-

фазную характеристику для каждого из циклов. На рис. 1 представлены три канала записи ЭКГ (датчики, расположенные в разном месте тела человека). На основе данной характеристики делается вывод о том или ином состоянии сердечно-сосудистой системы пациента [1].

Традиционных методов анализа данных ЭКГ (рис. 2) недостаточно для построения индивидуальной картины работы сердца пациента, а также чтобы дать оценку изменениям, приводящим к проявлению различных состояний.

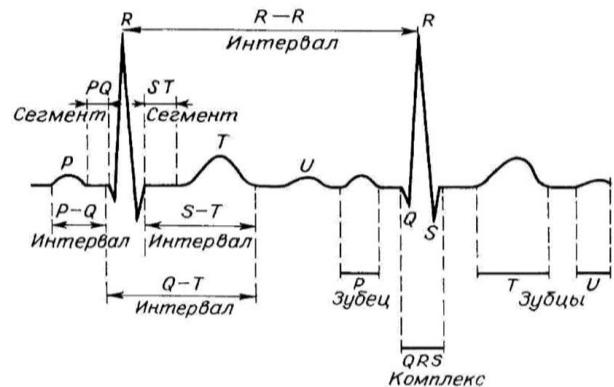


Рис. 2. Интервалы, зубцы и комплексы структуры кардиограммы, необходимые для анализа

Исходя из вышеупомянутого, актуальность данного исследования можно определить необходимостью распознавания и регистрации причинно-следственных связей между изменениями в характеристиках ЭКГ-сигнала относительно некоего «эталона» и изменениями в состоянии здоровья сердечно-сосудистой системы.

В работе предлагается проводить не кратковременное измерение ЭКГ, а долговременное, может быть, в течение нескольких суток, что дает определенные преимущества:

1. Значительное количество измерений в течение суток, позволяющее сделать статистически полноценные оценки сердечной деятельности.
2. Регистрация ЭКГ в различных обстоятельствах обычных условий жизни человека, позволяющая выявить особенности сердечной деятельности при нагрузках.

3. Регистрация ЭКГ во время сна.

4. Выявление кратковременной variability параметров ЭКГ.

На сегодняшний день развитие и внедрение современных технологий в области анализа данных ЭКГ в основном отражается в широких возможностях цифрового представления ЭКГ с последующей возможностью использования различных математических моделей, формул и их связей с характеристиками ЭКГ и различными электрофизиологическими изменениями в проводящей системе сердца.

Принимая во внимание вышеописанные факты и условия, нами предлагается разработка новой мето-

дики анализа отклонений данных ЭКГ на основе нейросетевого подхода.

Нейронные сети – цифровая имитация работы биологического мозга. Нейросетевой подход открывает доступ к прежде недоступному для электронных машин ассоциативному мышлению, прогнозированию и обучаемости, свойственным человеческому мозгу [2]. Такой подход хотя и не заменяет консультацию профессионала полностью, но позволяет получать достаточно достоверные данные о здоровье сердечно-сосудистой системы даже неподготовленному человеку, при этом соблюдая высокую скорость обработки и получения результатов.

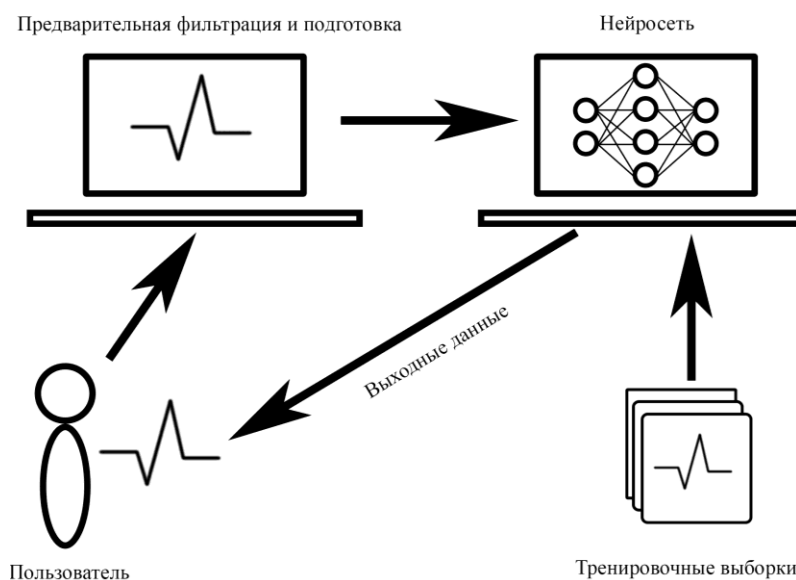


Рис. 3. Блок-схема программы

На рис. 3 в виде блок-схемы представлены основные компоненты предлагаемой методики: данные ЭКГ, собираемые пользователем в режиме реального времени, отправляются на сервер обработки, где сначала проводится предварительная фильтрация данных с целью снижения шумов и искажений и приведения данных в форму, готовую к обработке нейронной сетью. После этого специально созданная и обученная с помощью выборок тренировочных данных нейронная сеть выполняет обработку и принимает решение о состоянии сердечно-сосудистой системы и уровне ее здоровья, после чего заключение возвращается пользователю, и при необходимости дается рекомендация посетить профессионального кардиолога.

Заключение

В работе показана блок-схема и описана структура программы оценки отклонений формы электрокардиосигнала с помощью нейросетевого подхода.

Литература

1. Мешков А.П. Азбука клинической электрокардиографии. – Н. Новгород: НГМА, 1998. – 149 с.
2. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.

Катаев Михаил Юрьевич

Д-р техн. наук, профессор каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, 634050
Тел.: +7-913-883-32-33
Эл. почта: kmy@asu.tusur.ru

Кохонов Александр Евгеньевич

Магистрант каф. АСУ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, 634050
Тел.: +7-913-813-33-17
Эл. почта: bishopnb97@mail.ru

УДК 004.932.2

А.И. Елизаров, Д.В. Кокарев

Методы оценки качества изображений

В задачах, связанных с анализом и обработкой изображений, часто возникает необходимость в первичной оценке качества регистрируемых изображений, особенно в автоматизированных системах. Факторами, влияющими на качество изображения, являются как условия регистрации (неконтролируемые условия освещения), так и параметры регистрирующей системы (в том числе и тракт передачи данных). Несмотря на большое количество разработанных методов оценки качества изображения, задача является достаточно сложной и не имеющей универсального решения, и во многом зависит от решаемых задач и методов обработки изображений. В работе проводится сравнительный анализ вычисления функции резкости как критерия качества при отсутствии эталонного изображения.

Ключевые слова: техническое зрение, обработка изображений, качество изображения, функция резкости.

При решении задачи оценки качества изображения можно выделить два основных подхода – субъективный и объективный. Субъективная (экспертная) оценка основана на том, как люди воспринимают изображение и его качество. Объективная (количественная) оценка качества изображения базируется на различных математических методах и алгоритмах, разработанных с учетом особенностей восприятия изображения человеком. Эти оценки могут быть абсолютными либо сравнительными.

При вычислении меры качества изображений широко используются методы, разработанные для оценки качества одномерных сигналов. Меры оценки качества изображения могут быть получены как при эталонном сравнении, так и в виде безэталонной меры. При эталонной оценке одно из изображений принимается в качестве эталона (выбирается на основе субъективного восприятия), а все последующие изображения сравниваются с ним. В качестве меры близости, а следовательно, мерой качества, может выступать, например, среднеквадратичное отклонение либо коэффициент корреляции [1].

В настоящее время при оценке качества цифровых изображений большинство метрик базируется на вычислении индекса структурного сходства SSIM (от англ. Structural SIMilarity index), который является развитием методов вычисления пикового отношения сигнала к шуму (PSNR) и среднеквадратичной ошибки (MSE) [2, 3]. Основным преимуществом данной метрики является учет структурных различий в паре изображений и наличие сильной корреляции в яркости соседних пикселей. Индекс сходства SSIM основан на трех оценках базовых критериях качества: локальная яркость, локальный контраст и структура (имеющая смысл коэффициента корреляции Пирсона). В общем случае эта оценка делается для значений яркости, хотя может быть применена и к цветному RGB-изображению. Существует также и многомасштабная мера SSIM, заключающаяся в вычислении локальных оценок в окнах различного размера.

Несмотря на простоту и эффективность такого подхода, на практике не всегда возможно его применение ввиду отсутствия эталонного изображения. При нахождении меры оценки качества изображения в таком случае применяют безэталонную меру (по-

reference methods) [4]. Среди множества критериев качества изображения, влияющих на субъективное восприятие, особо выделяют яркость, контрастность и резкость. Как правило, понятия контраста изображения и его резкости неразрывно связаны. Резкость изображения – один из важнейших показателей его качества, во многом определяющий пригодность изображения к дальнейшей обработке. Резкость изображения можно описать как степень размытости границы между двумя соседними участками изображения с разной оптической плотностью (яркостью).

Причинами размытия изображения могут стать и неправильная фокусировка (расфокусировка, out-focus), и непосредственно движение объекта съемки относительно камеры (смаз, blur-motion). Анализ литературы показал, что существующие алгоритмы оценки резкости могут быть использованы как безэталонные меры оценки качества изображения.

Такие алгоритмы широко используются в современной фототехнике, а именно в системах автофокусировки, которая в свою очередь может быть как активной, так и пассивной. Активная фокусировка основана на методах нахождения расстояния до объекта съемки независимо от оптической системы для последующей её корректировки. В случае пассивной фокусировки производится анализ зарегистрированного изображения и по его результатам выполняется корректировка оптической системы. В свою очередь, принцип фокусировки, основанный на анализе контраста изображения, может использоваться в любых фото- и видеокамерах, как цифровых, так и аналоговых. Далее рассмотрим некоторые меры, используемые в алгоритмах автофокусировки, и оценим возможность их применения для оценки качества изображений.

Различные функции автофокуса позволяют вычислить значение, позволяющее оценить степень фокусировки одного и того же изображения. Эти функции основаны на знаниях о различиях в информации, содержащейся в сфокусированных и несфокусированных изображениях. Основное предположение, используемое в большинстве таких функций, заключается в том, что расфокусированное изображение является результатом свертки изображения с определенной функцией рассеяния точки [5], которая обычно приводит к снижению высоких частот образа.

Кроме этого, как правило, сфокусированные изображения содержат больше информации и деталей (краев), чем несфокусированные изображения [6]. Несмотря на многообразие функций автофокуса, можно выделить базовые подходы, основанные на вычислении контраста изображения, анализе экстремумов, гистограммы, частотном анализе, градиентном и корреляционном анализе.

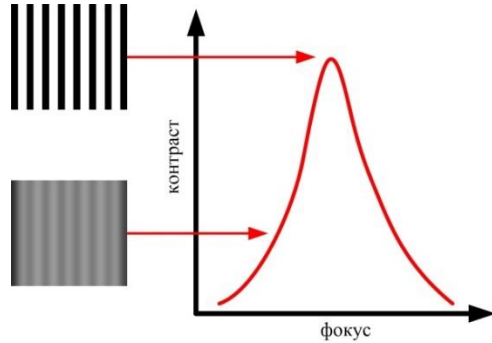


Рис. 1. Зависимость контраста от степени фокусировки

Наиболее простой, в алгоритмическом плане, но не всегда эффективной оценкой является контраст, определяемый как характеристика изображения по различию в яркости его самых светлых и темных участков. Максимальное значение контраста называется динамическим диапазоном изображения. В общем случае контраст рассчитывается как суммарное значение результатов сравнения соседних пикселей:

$$C_{ij} = \frac{I_i - I_j}{I_i + I_j},$$

где I_i, I_j – интенсивность элементов изображения в соседних строках или столбцах.

Экспериментальные результаты не всегда дают положительный результат. В большинстве случаев наиболее качественное (резкое) изображение, определяемое с использованием данной оценки, не совпадает с экспертной оценкой.

Статистическая информация об изображении позволяет использовать в качестве меры контраста изображения дисперсию (F_{var}) или нормализованную дисперсию (F_{norm_var}):

$$F_{var} = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [I(i,j) - \bar{I}]^2,$$

$$F_{norm_var} = \frac{1}{MN\bar{I}} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [I(i,j) - \bar{I}]^2,$$

где I_i, I_j – интенсивность пикселя, \bar{I} – среднее значение интенсивности изображения.

Анализ экстремумов интенсивностей изображения является еще одним косвенным методом оценки степени фокусировки и качества изображения. В некоторых случаях интенсивность пикселя сравнивается с некоторым порогом Th :

$$F_{power} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} I(i,j)^2 \text{ или}$$

$$F_{th_cont} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} I(i,j), \text{ когда } I(i,j) \geq Th, \text{ или}$$

$$F_{num_pix} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} s(I(i,j), Th), \quad s = \begin{cases} 0, & x \geq Th, \\ 1, & x < Th. \end{cases}$$

Если предположить, что гистограмма сфокусированного изображения (или анализируемого фрагмента) имеет большее количество уровней серого, чем несфокусированного, можно использовать в качестве меры качества такие функции, как ранг или энтропия:

$$F_{range} = \max\{k | H_k > 0\} - \min\{k | H_k > 0\},$$

$$F_{entropy} = -\sum_k p_k \log_2 p_k,$$

где H_k – число пикселей с интенсивностью k , p_k – относительная частота.

В работе [7] для оценки резкости изображения предлагается использовать анализ соотношения низких и высоких частот спектра Фурье-изображения либо вычислять меру эксцесса спектра. Основная проблема такого подхода заключается в том, что однозначно найти границы между частотами сложно.

В работе [8] предложены две меры с очень хорошими характеристиками при наличии шума. Первая основана на вычислении автокорреляционной функции, считается устойчивой к шуму и эффективной в вычислительном отношении

$$F_{ac} = \sum_{i=0}^{M-2} \sum_{j=0}^{N-1} I(i,j) I(i+1,j) - \sum_{i=0}^{M-3} \sum_{j=0}^{N-1} I(i,j) I(i+2,j).$$

Вторая функция обладает такими же преимуществами, но основана на вычислении среднеквадратического отклонения.

$$F_{SD} = \sum_{i=0}^{M-2} \sum_{j=0}^{N-1} I(i,j) I(i+1,j) - MN\bar{I}^2.$$

В силу того, что несфокусированные изображения обычно имеют небольшие различия между темными и яркими объектами, то при вычислении меры резкости изображения целесообразно использовать различные дифференциальные операторы. Одной из таких мер может являться абсолютное значение градиента с пороговым ограничением F_{Th_grad} :

$$F_{Th_grad} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |I(i,j+1) - I(i,j)|,$$

$$\text{если } |I(i,j+1) I(i,j)| \geq Th.$$

Вычисление квадрата градиента будет отличаться тем, что большие значения градиента оказывают большее влияние на конечный результат:

$$F_{sq_grad} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |I(i, j+1) - I(i, j)|^2.$$

Аналогично вычисляется функция Бреннера, но при этом учитывается разница между интенсивностями смещенных на два пикселя по горизонтали либо по вертикали относительно друг друга

$$F_{Brenner} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |I(i, j+2) - I(i, j)|^2.$$

В работе [6] предложена функция с применением дифференциального оператора Собеля

$$F_{tenengrad} = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [I(i, j) \oplus S_x]^2 + [I(i, j) \oplus S_y]^2,$$

где S – оператор Собеля:

$$S_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad S_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}.$$

В базовом алгоритме, как и в предыдущих мерах, предлагается учитывать только те значения градиента, которые превышают некий порог. Тем не менее серия экспериментов показала, что данное ограничение во всех рассмотренных методах не оказывает существенного влияния на конечный результат. Экспериментальные исследования некоторых рассмотренных мер проводились на серии из 140 изображений одной и той же сцены, полученных с разным фокусным расстоянием (рис. 2), как для оценки качества всего изображения, так и для анализа отдельных участков. Все оценки были проведены для полутонных изображений.



Рис. 2. Пример анализируемых изображений с указанием областей анализа: фокусировка на ближнем объекте, на удаленном объекте, анализ всего изображения

Для каждого изображения серии выполнялся расчет функции резкости изображения (как меры качества). Основные результаты представлены в виде графиков на рис. 3. В качестве критерия качества были выбраны градиентные меры, как наиболее информативные.

Заключение

В работе рассмотрены различные методы оценки качества изображения. Проведен сравнительный анализ различных функций качества при отсутствии эталонного изображения. Для тестируемых изображений, как для отдельных участков, так и для всего изображения в целом, все функции дают одинаковый результат. Максимальные значения рассчитанных мер, а следовательно, и наиболее качественные

изображения, совпадают с экспертной визуальной оценкой. Несмотря на то, что рассмотренные меры базируются в основном на оценке резкости и контраста изображения, любую из них можно использовать для условной оценки качества изображения, полученного в одинаковых условиях. В силу простоты реализации и высокой скорости работы алгоритмов (скорость обработки серии изображений размером 800×600 составила ~ 40 кадров/с) они могут использоваться в системах обработки анализа изображений в режиме реального времени.

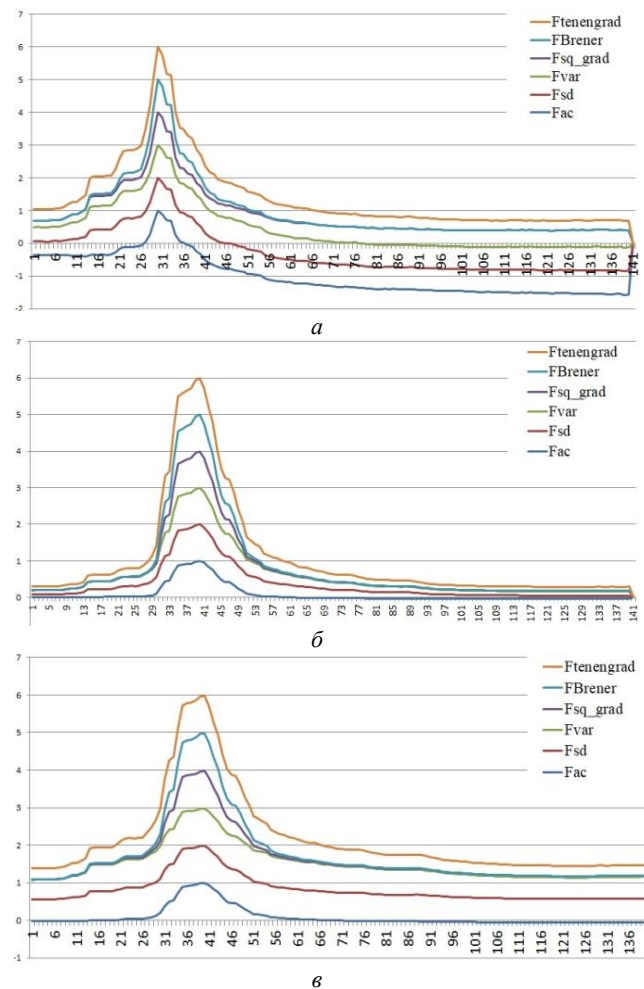


Рис. 3. Результаты вычислений меры качества, представленные в виде графиков с накоплением результата: a – анализ участка изображения, находящегося в ближнем фокусе; b – анализ участка изображения, находящегося в дальнем фокусе; v – анализ всего изображения

Литература

1. Старовойтов В.В. Локальные геометрические методы цифровой обработки и анализа изображений. – Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 1997. – 284 с.
2. Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R., Simoncelli E.P. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity // IEEE Transactions on Image Processing. – 2004. – Vol. 13, No. 4. – P. 600–612.

3. Avcibas I., Sankur B., Sayood K. Statistical evaluating of image quality measures // Journal of Electronic Imaging. – 2002. – Vol. 11, No. 2. – P. 206–223.

4. Shahid M., Rossholm A., Lövsström B., Zepernick H. No-reference image and video quality assessment: a classification and review of recent approaches // EURASIP Journal on Image and Video Processing. – 2014. – Vol. 40. DOI: 10.1186/1687-5281-2014-40.

5. Groen F., Young I.T., Ligthart G. A comparison of different focus functions for use in autofocus algorithms // Cytometry. – 1985. – Vol. 12. – P. 81–91.

6. Yeo T., Ong S., Jayasooriah R. Autofocusing for tissue microscopy // Image computing. – 1993. – Vol. 11. – P. 629–639.

7. Daugman J. Statistical Richness of Visual Phase Information: Update on Recognizing Persons by Iris Patterns // International Journal of Computer Vision. – 2001. – Vol. 45. – P. 25–38.

8. Vollath D. Automatic focusing by correlative methods // J. Microscopy. – 1987. – Vol. 147. – P. 279–288.

Елизаров Алексей Игоревич

Канд. техн. наук, с.н.с. лаб. лидарных методов
Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
Академика Зуева пл., 1, г. Томск, Россия, 634055,
доцент каф. оптико-электронных систем
и дистанционного зондирования (ОЭС и ДЗ)
Национального исследовательского
Томского государственного университета (НИ ТГУ)
Ленина пр-т, 36, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-952-805-37-47
Эл. почта: alex@iao.ru

Кокарев Дмитрий Валериевич

Вед. инж. лаб. лидарных методов
Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
Академика Зуева пл., 1, г. Томск, Россия, 634055
Эл. почта: kdvd_02@iao.ru

УДК 004.93`12

А.А. Мороз, А.Б. Кураков

Разработка программы построения скелетной модели человека по его изображению

Представлен прототип интерфейса работы приложения для обработки потока фотографических изображений походки человека с целью построения скелетной модели. Рассмотрены основные этапы алгоритма построения скелетной модели фигуры человека, восстанавливаемой из видеоматериала.

Ключевые слова: скелетная модель, приложение, программа, интерфейс, походка человека.

В настоящее время по всему миру продолжается увеличение влияния информационных технологий на все сферы общественной жизни человечества. Необходимость получения и анализа все большего количества информации и данных, получаемых из разнообразных источников, в наши дни стоит наиболее острым образом. При этом остается проблема грамотного анализа полученных данных.

В век информации перед человеком встает все больше задач, решаемых исключительно путем обработки и анализа данных. Одна из таких проблем – это изучение моторной деятельности человеческого тела, являющейся большей частью его биометрических данных. Походкой называют особенности, поз и движений человека при ходьбе. Данные, получаемые при анализе этих особенностей могут быть полезны в медицине, спорте. В связи с этим было решено разработать приложение, способное реализовать построение скелетной модели. Интерес к изучению данной области обусловлен связью моторной активности человека и состоянием его физического и психологического здоровья. Поэтому разработка данного приложения является актуальной в наше время.

Объектом данной работы является интерфейс приложения по обработке видеозаписи с целью построения скелетной модели человеческого тела по его походке.

Цель – разработка информативной системы анализа параметров ходьбы человека путем построения его скелетной модели.

Для выполнения цели поставлены задачи разработки:

- блок-схемы модулей программы;
- интерфейса приложения.

Разрабатываемая нами система позволяет обрабатывать:

- видеоматериалы записи походки человека в группу кадров;

- использовать группы фильтров;
- строить скелетную модель человека путем определения локальных максимумов его фигуры.

Графический интерфейс приложения состоит из 4 частей:

- поле для загрузки видеозаписи;
- кнопка запуска алгоритма обработки изображений (кадров видеозаписи);
- поле для построения скелетной модели человека;
- кнопка сохранения результата и данных.

Общий алгоритм работы программы

1. Пользователь загружает видеозапись походки человека, после чего запускает обработку записи.

2. Кадры из видео обрабатываются в вид, максимально удобный для работы компьютера при помощи использования группы фильтров, после чего из них выделяется фигура человека посредством сравнения двух кадров: без человека и с ним.

3. Происходит поиск локальных максимумов фигуры, их построение и соединение линиями «скелета».

4. Готовая модель отображается в поле построения, после чего происходит анализ полученной информации.

5. Пользователь сохраняет результат проделанной работы при необходимости.

Блок-схема работы программы представлена на рис. 1.

Программа состоит из нескольких блоков: интерфейс, получение видео, обработка видео, построение скелетной модели, определение параметров и визуализация. Все результаты складываются в базу данных для возможности сравнения с предыдущими результатами измерений.

Интерфейс содержит в себе поля загрузки видеозаписи, обработки и вывода результата и кнопки запуска обработки и сохранения.

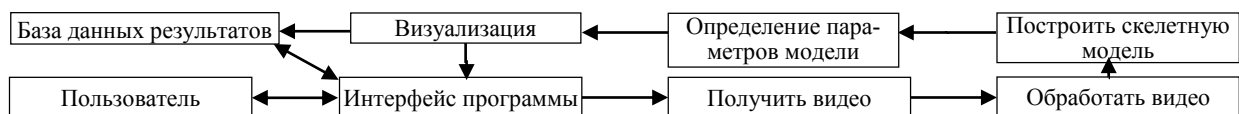


Рис. 1. Блок-схема модулей программы

Обработка видеозаписи происходит посредством выделения последовательности кадров из видеоматериала и дальнейшего использования на них

группы фильтров, таких как медианный и гауссовский, выравнивания шумов и приведения кадров к одинаковому состоянию. После чего находится раз-

ность двух изображений (из первого изображения с фигурой вычитается второе изображение – без неё), благодаря чему получается изображение с фигурой человека.

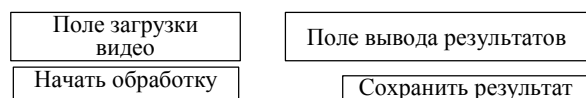


Рис. 2. Схематичный прототип интерфейса приложения

Далее производится перевод полученного результирующего изображения в черно-белое состояние с последующей очисткой результирующего изображения от артефактов, появляющихся при разности двух кадров, с целью получения силуэта человеческой фигуры [2]. Таким образом, мы получаем изображение, содержащее фигуру человека, которую возможно быстро и качественно обработать на следующем этапе работы приложения.

Алгоритм построения скелетной модели человеческого тела проходит следующим образом. Сначала происходит выделение в прямоугольнике области, в которой находится фигура человека. Вершины данного прямоугольника определяются по максимальным и минимальным точкам фигуры человека для всех сторон, определяющимся по точкам границы фигуры, после чего идет определение сторон прямоугольника путём сравнения противоположных сторон по их длинам. Далее происходит блочное деление данного прямоугольника на три части в соответствии с пропорциями фигуры человеческого тела: голова, туловище и ноги. После этого происходит поиск средних точек соприкосновения части фигуры из среднего блока со средними точками фигуры, касающейся нижней грани верхнего блока и верхней границы нижнего блока. Выделение координат точек локальных максимумов и объединение их в массив координат определяет всю необходимую информацию для построения скелетной модели фигуры человека [1].

Последующим этапом работы программы является определение параметров скелетной модели. В данном блоке происходит вычисление данных человеческой фигуры с использованием пропорций тела человека. Благодаря этому мы получаем полный набор информации, необходимый для анализа и построения скелетной модели человеческого тела. Кроме того, на данном шаге идет сравнение с данными, имеющимися в базе данных результатов, при их наличии. Полученные в результате выполнения данного блока операций данные отображаются в поле визуализации и сохраняются в базу данных для дальнейшего использования при исследованиях и анализе.

На последнем этапе выполнения алгоритма программы происходит визуализация скелетной модели в поле результата путем графического построения точек и их соединения в поле вывода результата. По окончании данного процесса пользователь имеет возможность проводить анализ полученных данных, используя графически представленную скелетную модель фигуры человеческого тела. После чего конеч-

ное изображение по решению пользователя сохраняется в базу данных.



Рис. 3. Переход от фигуры человека, выделенной на изображении, к скелетной модели

Важной особенностью приложения является сбор и хранение полученных при обработке данных. Кроме того, возможность сравнения новых данных с уже имеющимися, необходимая для исследования динамики показателей индивида с течением времени, что применимо для мониторинга состояния при тренировках спортсменов, медицинском обследовании и лечении пациентов с нарушениями моторной активности. Также довольно важной отличительной чертой является отсутствие крепления датчиков двигательной деятельности к телу человека. Таким образом, его движения не будут стесняться при процессе ходьбы [3].

Заключение

В итоге проделанной нами работы был разработан прототип приложения для построения скелетной модели человека по видеозаписи его походки. Поставленную перед нами задачу считаем полностью выполненной. Полученные нами результаты будут использоваться в дальнейшей разработке данного программного обеспечения.

Работа выполнена в рамках проекта ГПО АСУ-1902 под руководством д.т.н., профессора М.Ю. Катаева.

Литература

1. Катаев М.Ю., Катаева Н.Г., Коробко А.П., Шаймарданов Т.М. Методика построения фронтальной скелетной модели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://journal.tusur.ru/storage/97952/23-Катаев-Катаева-Коробко-Шаймарданов.pdf?1516335483>, свободный (дата обращения: 16.09.2020).
2. Катаев М.Ю., Коробко А.П. Построение скелетной модели фигуры человека по потоку изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-skeletnoy-modeli-figury-cheloveka-po-potoku-izobrazheniy/viewer>, свободный (дата обращения: 17.09.2020).
3. Катаев М.Ю., Коробко А.П., Котельникова Н.А. Оценка угловых параметров походки человека из скелетной модели, полученной на основе обработки изображения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26151099&>, свободный (дата обращения: 17.09.2020).

Мороз Артём Андреевич

Студент каф. автоматизированных систем управления (АСУ) ТУСУРа
Эл. почта: artyom.moroz.00@gmail.com

Кураков Андрей Борисович

Студент каф. АСУ ТУСУРа
Эл. почта: sniperaft@bk.ru

УДК 519.111.3

Д.В. Кручинин, Ю.В. Шабля, М.Ю. Перминова

Разработка правил применения композит для производящих функций двух переменных

Показана актуальность разработки новых методов оперирования производящими функциями многих переменных. Предложена идея обобщения математического аппарата степеней производящих функций на случай многих переменных за счет обобщения понятия композиты производящей функции. Также рассмотрено применение разработанных правил для получения явной формулы для производящей функции двух переменных для числового треугольника Эйлера–Каталана.

Ключевые слова: производящая функция, производящая функция многих переменных, композита, формула.

Математический аппарат производящих функций является мощным исследовательским инструментом, который может быть эффективно использован для решения задач в комбинаторике, математическом анализе, теории вероятностей, математической физике и других областях науки. Например, различные методы теории производящих функций активно применяются при решении задач из области комбинаторики, так как производящие функции позволяют получить компактное представление дискретных структур, а также предоставляют широкий набор функциональных возможностей при работе с такими структурами. В математическом анализе производящие функции находят применение в качестве инструмента представления и исследования различного рода полиномов, которые, в свою очередь, имеют важное значение в теории операторов, аналитических функций, интерполяции, приближений, численного анализа, электростатике, статистической квантовой механике, теории чисел, комбинаторике, теории стохастических процессов, сортировке и сжатии данных и т.д.

Обыкновенные производящие функции

Первые упоминания о применении математического аппарата производящих функций представлены в научных работах А. де Муавра при решении им рекуррентных уравнений. Затем Л. Эйлер развил данные методы для применения производящих функций при решении задач, связанных с исследованием разбиений. Большой вклад в развитие методов решения математических задач на основе использования производящих функций внесли такие ученые, как Д. Риордан, Л. Комте, Ф. Флажолле, Р. Седжвик, Г.С. Вильф, Р.П. Стэнли, Г.П. Егорычев, В.Н. Сачков, С.К. Ландо, О.В. Кузьмин и др.

Согласно Р.П. Стэнли [1], обыкновенной производящей функцией произвольной числовой последовательности $(a_n)_{n>0}$ называется формальный степенной ряд следующего вида:

$$A(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots = \sum_{n \geq 0} a_n x^n.$$

Переменная x является формальной, т.е. сходимость степенного ряда не рассматривается.

В настоящее время существует большое разнообразие различных техник и методов работы с обыкновенными производящими функциями.

Одним из таких направлений по работе с производящими функциями является направление, базирующееся на использовании коэффициентов степеней производящих функций, которые также называют композитами [2, 3]. Композитой обыкновенной производящей функции $A(x) = \sum_{n>0} a_n x^n$ называется функция

$A^\Delta(n, k)$, которая является функцией коэффициентов k -й степени производящей функции $A(x)$:

$$A(x)^k = \sum_{n \geq k} A^\Delta(n, k) x^n.$$

При этом основным требованием, предъявляемым к производящей функции, является отсутствие свободного члена, т.е. $a_0 = 0$.

Для двух обыкновенных производящих функций $A(x)$ и $B(x)$ и их композит $A^\Delta(n, k)$ и $B^\Delta(n, k)$ соответственно известны правила получения композит для:

- сложения производящих функций $A(x) + B(x)$;
- умножения производящих функций $A(x)B(x)$;
- композиции производящих функций $A(B(x))$;
- взаимных производящих функций, для которых выполняется следующее: $A(x)B(x) = 1$;
- обратных производящих функций, для которых выполняется следующее: $A(x) = B(x)^{-1}$.

На основе данных правил можно получить выражение композиты для производящей функции практически любой сложности. В свою очередь, это приводит к нахождению явных формул для коэффициентов любой композиции производящих функций без вычисления производных высших порядков.

Однако приведенные выше исследования касаются только случая производящей функции одной переменной. При этом, например, для описания сложных дискретных структур широко используются производящие функции многих переменных.

Производящие функции многих переменных

Под производящей функцией многих переменных понимается формальный степенной ряд

$$A(x, y, \dots, z) = \sum_{n \geq 0} \sum_{m \geq 0} \dots \sum_{l \geq 0} a_{n, m, \dots, l} x^n y^m \dots z^l.$$

Существует большое количество задач, связанных с производящими функциями многих переменных, в том числе для которых не известны явные представления. В качестве примера подобных задач можно рассмотреть следующие:

- поиск вероятности наличия конкретного ребра в идеальном графе для алмазного бриллианта [4];
- подсчет барграфов [5];
- получение явных формул для числовых треугольников Дика и Моцкина [6].

При этом математический аппарат для работы с производящими функциями многих переменных на сегодняшний день слабо развит. Разработка новых методов оперирования производящими функциями многих переменных существенно расширяет возможности использования производящих функций как для развития самой теории производящих функций, так и для решения прикладных задач.

В рамках предлагаемого исследования рассматривается идея обобщения математического аппарата степеней производящих функций на случай многих переменных. Например, для производящей функции двух переменных

$$A(x, y) = \sum_{n \geq 0} \sum_{m \geq 0} a_{n,m} x^n y^m$$

рассматривается следующая ее степень:

$$A(x, y)^k = \sum_{n \geq 0} \sum_{m \geq 0} A^\Delta(n, m, k) x^n y^m.$$

В свою очередь, это позволит исследовать не только числовые треугольники (любую композицию $A^\Delta(n, k)$ обыкновенной производящей функции $A(x)$ можно представить в форме числового треугольника), но и тензорные структуры. Итоговое обобщение предлагается сделать для степеней производящих функций многих переменных следующего вида:

$$A(x, y, \dots, z)^k = \sum_{n \geq 0} \sum_{m \geq 0} \dots \sum_{l \geq 0} A^\Delta(n, m, \dots, l, k) x^n y^m \dots z^l.$$

Предлагаемый подход позволяет определить для производящих функций многих переменных операции сложения, умножения, композиции, формулы для обратных и взаимных производящих функций. В результате проведения исследований были разработаны соответствующие правила для работы с производящими функциями двух переменных и их композициями. Данные правила позволяют получать выражения для композит производящих функций двух переменных за счет представления заданной производящей функции в виде суммы, произведения или композиции более простых производящих функций одной или двух переменных.

Рассмотрим один из примеров разработанных правил. Пусть дана производящая функция двух переменных

$$A(x, y) = \sum_{n \geq 0} \sum_{m \geq 0} a_{n,m} x^n y^m = B(C(x), y),$$

которая является композицией производящей функции двух переменных

$$B(x, y) = \sum_{n \geq 0} \sum_{m \geq 0} b_{n,m} x^n y^m$$

и производящей функции одной переменной

$$C(x) = \sum_{n > 0} c_n x^n.$$

Тогда коэффициенты $a_{n,m}$ для производящей функции $A(x, y)$ могут быть получены с помощью следующей формулы:

$$a_{n,m} = \sum_{k=0}^n C^\Delta(n, k) b_{k,m}. \quad (1)$$

Используя полученную формулу (1), можно найти явную формулу для коэффициентов производящей функции для треугольника Эйлера–Каталана [7]. Данная производящая функция является производящей функцией двух переменных

$$EC(x, y) = \sum_{n \geq 0} \sum_{m \geq 0} \frac{EC_{n,m}}{n!} x^n y^m = \frac{y-1}{y - e^{C(x)(y-1)}}.$$

Также представленное выражение производящей функции $EC(x, y)$ можно записать в виде композиции $EC(x, y) = E(C(x), y)$ производящей функции чисел Эйлера первого рода [8]

$$E(x, y) = \sum_{n \geq 0} \sum_{m \geq 0} \frac{E_n^m}{n!} x^n y^m = \frac{y-1}{y - e^{x(y-1)}}$$

и производящей функции чисел Каталана [9]

$$C(x) = \sum_{n > 0} C_{n-1} x^n = \frac{1 - \sqrt{1-4x}}{2}.$$

Для производящей функции чисел Каталана известно следующее выражение композиты при $n \geq k > 0$ [2]:

$$C^\Delta(n, k) = \frac{k}{2n-k} \binom{2n-k}{n}.$$

Для случая $n=k=0$ выполняется $C^\Delta(0, 0) = 1$.

Тогда, используя формулу (1) для представленных производящих функций и их композит, можно получить следующую явную формулу для коэффициентов EC_n^m производящей функции Эйлера–Каталана при $n \geq m > 0$:

$$EC_n^m = n! \sum_{k=0}^n C^\Delta(n, k) \frac{E_k^m}{k!} = \sum_{k=0}^n \frac{k}{2n-k} \binom{2n-k}{n} \frac{n!}{k!} E_k^m.$$

Для случая $n=k=0$ получаем $EC_n^m = 0$.

Заключение

Таким образом, применение разработанных правил применения композит для производящих функций двух переменных позволяет получать новые яв-

ные формулы для коэффициентов данных производящих функций. Это, в свою очередь, делает возможным исследование объектов, которые описываются с помощью таких производящих функций. Автоматизация разработанных правил в виде программных модулей или библиотек для математических пакетов также позволит упростить и ускорить обработку таких объектов исследования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-31-70037.

Литература

1. Stanley R.P. Enumerative combinatorics. – Vol. 1. Second ed. – USA: Cambridge University Press, 2011. – 640 p.
2. Кручинин В.В. Степени производящих функций и их применение / В.В. Кручинин, Д.В. Кручинин. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2013. – 236 с.
3. Kruchinin V.V. Composita and its properties / V.V. Kruchinin, D.V. Kruchinin // Journal of Analysis and Number Theory. – 2014. – Vol. 2, No. 2. – P. 37–44.
4. Du P. The Aztec diamond edge-probability generating function: дис. ... магистра математики. – США, 2011. – 41 p.
5. Blecher A. Combinatorial parameters in bargraphs / A. Blecher, C. Brennan, A. Knopfnacher // Quaestiones Mathematicae. – 2016. – Vol. 39, No. 5. – P. 619–635.
6. Dyck and Motzkin triangles with multiplicities / V.R. Meshkov, A.V. Omelchenko, M.I. Petrov, E.A. Tropp // Moscow Mathematical Journal. – 2010. – Vol. 10, No. 3. – P. 611–628.

7. Shablya Y. Euler-Catalan's number triangle and its application / Y. Shablya, D. Kruchinin // Symmetry. – 2020. – Vol. 12, No. 4. – Article 600.

8. Graham R.L. Concrete mathematics. Second edition / R.L. Graham, D.E. Knuth, O. Patashnik. – USA: Addison-Wesley, 1994. – 657 p.

9. Stanley R. P. Enumerative combinatorics. – Vol. 2. – USA: Cambridge University Press, 2001. – 595 p.

Кручинин Дмитрий Владимирович

Канд. физ.-мат. наук, доцент каф. КИБЭВС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0000-0003-3412-432X
Эл. почта: kdv@keva.tusur.ru

Шабля Юрий Васильевич

Преподаватель каф. КИБЭВС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0000-0002-9695-7493
Эл. почта: syv@keva.tusur.ru

Перминова Мария Юрьевна

Канд. техн. наук, доцент каф. ТЭО ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: rmy@fdo.tusur.ru

УДК 004.652.6.031.43:629.786

В.С. Старшинов, Е.Д. Подкаминер, С.Г. Цапко

Разработка алгоритма для автоматизированного распределения сеансов управления космическими аппаратами между станциями наземного обслуживания

Рассматривается проблема распределения сеансов связи между разными земными станциями и орбитальной группировкой космических аппаратов. Представлена концептуальная модель взаимодействия земных станций и космических аппаратов. Разработан и описан алгоритм распределения сеансов связи.

Ключевые слова: орбитальная группировка, космические аппараты, земные станции, сеансы связи, мульти-агентные системы.

В процессе управления космическими аппаратами с помощью земных станций (ЗС) периодически возникает проблема распределения сеансов связи (СС) между ЗС и космическими аппаратами (КА), которые входят в орбитальную группировку (ОГ), из-за различного оборудования ЗС и большого количества ограничений и подходов к управлению [1].

Для задачи обслуживания на территории всей страны существует ОГ из КА, которая постоянно функционирует. В процессе своего функционирования КА требуют постоянного контроля и обслуживания со стороны человека. Ввиду того, что техническое обслуживание КА в шаговой доступности от него не представляется возможным, так как КА находится на орбите и не является физически доступным для человека, поэтому контроль и обслуживание производятся на программном уровне. Стоит заметить, что в составе ОГ КА различаются по поколению, поэтому для каждого из них учитываются свои особенности по обслуживанию и управлению. Помимо этих проблем, у каждой земной станции имеются свои технические ограничения на работу, из-за которых не могут обслужиться некоторые КА.

На основе вышеперечисленных факторов оператору затруднительно назначить СС вручную ввиду особенностей каждого КА в ОГ (у каждого КА своя траектория полета, а ЗС имеют разные зоны радиовидимости), поэтому процесс назначения сеансов связи должен быть автоматизирован. Поскольку все эти ограничения влияют на оперативное решение задачи распределения СС между КА и ЗС, а в центре управления полетами (ЦУП) средства решения этой задачи морально устарели, то необходимо найти решение задачи планирования сеансов управления КА между ЗС с учетом имеющихся ограничений и динамично меняющихся условий [1, 2].

Для решения вышеуказанных проблем необходимо создать эффективный инструмент, формирующий расписание автоматически на основе разработанного алгоритма планирования сеансов связи КА и ЗС без участия человека.

КА постоянно требуется обмен информацией с ЗС, так как эти данные требуются для обслуживания ЗС, что является основной задачей. Количество данных, полученных от КА, пропорционально эффек-

тивности работы всей системы. Для повышения эффективности работы длительность СС между агентами (КА и ЗС) должна соответствовать штатному режиму обслуживания [2].

Концептуальная модель

Для решения задачи планирования сеансов связи необходимо сформулировать общее представление взаимодействия между ЗС и КА. Концептуальную модель процесса распределения СС можно условно разделить и представить в виде 2 диаграмм активностей (процессов): генерация массива заявок (рис. 1) и прием массива заявок (рис. 2).

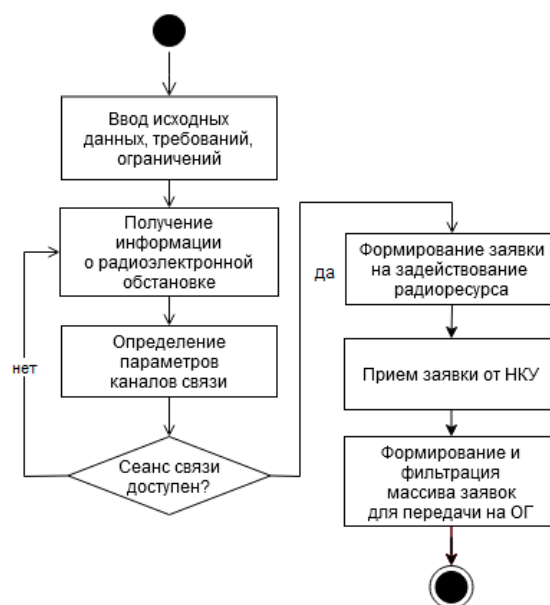


Рис. 1. Диаграмма активности при генерации заявок на задействовании ресурсов

Данная диаграмма описывает действия по формированию комплексной заявки с содержанием полной информации о параметрах, ограничениях и требованиях, заданных оператором. Для начала необходимо подготовить исходные данные, которые будут содержать информацию о составе ОГ КА, наземных комплексах управления, наличии требований к управлению различными типами КА и наличии ограничений со стороны ЗС при определении зон радиовидимости и прочих параметров. После ввода всех

данных в систему необходимо получить информацию о радиоэлектронной обстановке, включающей в себя набор факторов, влияющих на качество передаваемого радиосигнала между ЗС и КА. В дальнейшем необходимо произвести анализ факторов, влияющих на качество связи, с целью определения помех и спрогнозировать возможные последствия. Параметры каналов связи формируются для определения возможных зон радиовидимости, частот, помехоустойчивости, скорости передачи и др. В случае если при учете всех параметров сеанс связи возможно совершить, то формируется заявка на задействование канала связи. Заявка отправляется в ОГ, где происходит отбор приоритетных заявок и отправка их в ЦУП для их обработки [3–5].

Диаграмма активности при приеме массива заявок представлена на рис. 2.



Рис. 2. Диаграмма активности при приеме заявок на задействовании ресурсов

Данная диаграмма показывает преобразование массива заявок в график сеансов связи. ЦУП принимает массив заявок, который содержит требования и ограничения по пропускной способности каналов связи и параметрам КА, совокупность зон радиовидимости, координаты частот и другие параметры. В дальнейшем происходит определение состояний ЗС и ОГ для готовности провести сеанс связи. После определения состояний ЗС и КА формируется массив зон

радиовидимости КА и ЗС для анализа работоспособности ЗС и КА из ОГ. Полученные ранее совокупности зон радиовидимости КА и ЗС при совмещении позволяют сформировать совокупность каналов связи и прогноз использования СС. Результаты, полученные при формировании СС и прогноза использования СС, позволяют создать программу, которая будет формировать массив СС для дальнейшего моделирования процесса. При моделировании процесса занятости СС будут учитываться расписания зон видимости ЗС и ОГ, позволяющих проверить работу алгоритма формирования сеансов связи [5].

После составления концептуального метода распределения сеансов связи и выбора метода управления КА можно сделать вывод о том, что для решения задачи распределения сеансов необходимо разработать модель, которая позволит описать зоны радиовидимости и преобразовать их в график сеансов связи [4].

Разработка алгоритма

Алгоритм распределения сеансов связи должен учитывать все ограничения и требования в исходных данных, а также весь процесс от получения данных о зонах радиовидимости корабля до создания графика сеансов связи и состоит из следующих блоков:

1. Ввод исходных данных о составе, параметрах и структуре ОГ КА, а также количестве типовых ЗС с географическими координатами.

Для каждой земной станции определяются следующие параметры:

- тип бортовой аппаратуры;
- номер суточного витка;
- пространственно-временное положение каждого витка;
- параметры технологического цикла.

Для каждой земной станции определяются следующие характеристики:

- средства управления КА;
- координаты отдельных командно-измерительных комплексов;
- типы отдельных командно-измерительных комплексов [6].

2. Формирование матрицы зон радиовидимости при взаимодействии КА и ЗС.

Для получения матрицы необходимо получить заявки для расчета зон радиовидимости. Заявка включает в себя следующий набор параметров:

- номер КА;
- номер витка;
- тип бортовой аппаратуры;
- дата и время начала радиовидимости;
- дата и время окончания радиовидимости;
- пространственное положение каждого КА.

В дальнейшем необходимо разбить суточное время на промежутки времени для того, чтобы определить вхождения в промежуток времени интервалов радиовидимости. После разбиения на промежутки реального времени необходимо произвести расчет временных коэффициентов начала и конца радиовидимости, которые будут зонами радиовидимости.

Для расчета временного коэффициента необходимо время начала или окончания радиовидимости

разделить на 24. После определения зон радиовидимости КА необходимо составить матрицу зон видимости. Для этого производится перебор всех строк массива (КА), в каждой из которых необходимо проверить вхождения зоны радиовидимости в каждый промежуток времени. Если начало зоны радиовидимости

меньше или равно предыдущему временному коэффициенту и конец радиовидимости больше или равен текущему временному коэффициенту, то в текущее поле ставится значение 1, которое говорит о занятости зоны видимости данным промежутком времени, в противном случае – 0 [7, 8].

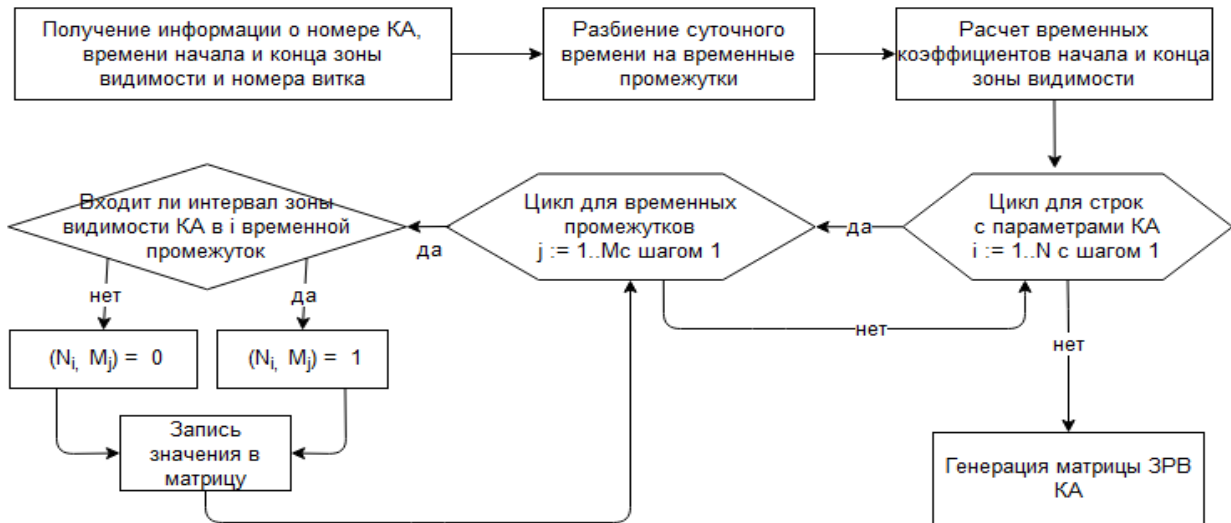


Рис. 3. Блок-схема алгоритма для этапа формирования матрицы зон видимости при взаимодействии КА и ЗС в процессе распределения сеансов связи

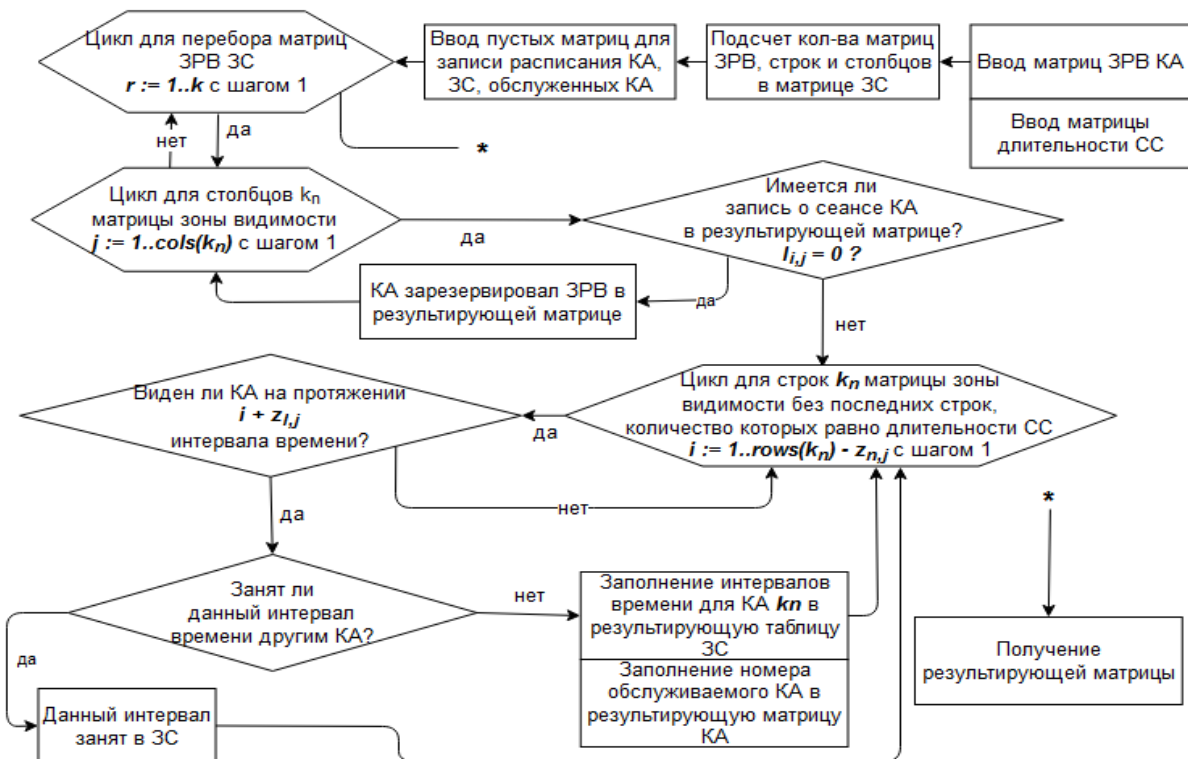


Рис. 4. Блок-схема алгоритма для этапа формирования плана выполнения сеансов связи между КА и ЗС в процессе распределения сеансов связи

Цикл для временных промежутков продолжается до последнего временного промежутка, соответствующему 24 ч. После перебора временных промежутков выбирается следующая строка. Если следующая строка будет иметь тот же номер КА, то произойдет конкатенация зон видимости. После перебора по-

следней строки будет сформирована матрица зон радиовидимости [9].

3. Формирование плана выполнения СС.

Полученные матрицы зон радиовидимости вносятся в исходные данные программы. Далее происходит перебор длительности СС. После выбора дли-

тельности сеансов связи необходимо произвести перебор по столбцам матрицы, являющимся КА. В дальнейшем происходит перебор по строкам зон видимости без учета количества последних строк, равным длительности сеансов связи. Если имеется свободное время у ЗС для обслуживания КА (перебор по 1 в строке матрицы), то данные перезаписываются в результирующую матрицу, куда нужно скопировать значения «1» в используемых зонах радиовидимости. Если нет свободного времени в данных строках, то ищется свободное время в последних матрицах, не использовавшихся в предыдущих. Если вначале сеанса связи имеется значение «0», то дальнейшая проверка на «1» не имеет смысла. В случае нахождения результата записывается в результирующую таблицу. Если в результирующей таблице данный временной промежуток занят прошлым КА (более приоритетным), то происходит поиск свободных ячеек в другой земной станции. После перебора всех КА и ЗС составляется результирующая матрица обслуживания [10].

Заключение

В данной работе были обозначена проблема распределения сеансов управления КА между ЗС из-за различных ограничений и зон радиовидимости КА. Была представлена концептуальная модель, которая рассматривает процесс планирования сеансов связи КА при управлении КА с ЗС. На ее основе был реализован алгоритм распределения СС и была разработана программа, которая формирует матрицы СС для ЗС.

Литература

1. Кравец В.Г. Автоматизированные системы управления космическими полетами. – М.: Машиностроение, 1995. – 254 с.
2. Лапушкин В.Н. Основы управления космическими аппаратами в полете: учеб. пособие. – Красноярск: АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М. Ф. Решетнева, 2012. – 382 с.
3. Управление полетом космического аппарата // Электр. Журн. «Космос-журнал» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cosmos-journal.ru/articles/936> (дата обращения: 23.08.2020).
4. Микрин Е.А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения. – М.: МГТУ им. Баумана, 2003. – 336 с.
5. Ковальский А.А. Методика и алгоритм оперативного планирования сеансов спутниковой связи на основе технологии гибких стратегий управления // Тр. учеб. завед. связи. – 2018. – Т. 4, № 4. – С. 36–46. DOI:10.31854/1813-324X-2018-4-4-36-46.
6. Соловьёв В.А. Полеты в космос. Оперативное управление космическими аппаратами: межфакультетские учеб. курсы Моск. гос. ун-та им. М.В. Ломоносова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mfk.msu.ru/attachment/114/lecture1.pdf> (дата обращения: 16.09.2020).
7. Блинов В.Н. Малые космические аппараты: справ. пособие / В.Н. Блинов, Н.Н. Иванов, Ю.Н. Сеченов. – М.: ОмГТУ, 2007. – 348 с.
8. Калашников Д.А., Соловьёв В.А., Скобелев П.О. и др. Метод адаптивного планирования сеансов связи ЦУП с группировкой КА по критериям надежности и экономичности связи // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер.: Технические науки. – 2015. – № 1(45). – С. 58–70.
9. Калашников Д.А., Соловьёв В.А., Скобелев П.О. и др. Особенности постановки задачи оптимизации показателей надежности и экономичности сеансов для передачи разнородных данных группировки КА и ЦУП через сеть наземных // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер.: Технические науки. – 2014. – № 4 (44). – С. 52–61.
10. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. – 2002. – № 6. – С. 45–61.

Старшинов Владислав Сергеевич

Аспирант отд. информационных технологий
Инженерной школы информационных технологий
и робототехники (ИШИТР)
Национального исследовательского
Томского политехнического университета (НИ ТПУ)
Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-953-917-27-68
Эл. почта: vss21@tpu.ru

Подкаминер Елизавета Дмитриевна

Магистрант отд. информационных технологий
ИШИТР НИ ТПУ
Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (953-1) 14-80-14
Эл. почта: edp6@tpu.ru

Цапко Сергей Геннадьевич

Канд. техн. наук, доцент
отд. информационных технологий ИШИТР НИ ТПУ
Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0000-0003-2480-3847
Тел.: +7-913-852-22-20
Эл. почта: tsapko@tpu.ru

УДК 621.396.41

М.Ю. Катаев, В.В. Рябухин

Разработка алгоритмов обработки изображений БПЛА для распознавания сельскохозяйственных растений

Распознавание растений на изображениях беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) приводит к необходимости обработки больших данных. В настоящее время изображения БПЛА применяются для оценки равномерности всхожести и распределения растений по полю, контролю состояния и площади очагов сорняков. Одним из способов контроля ареалов сорняков, который предлагается в данной работе, связан с контролем территории полей после уборки, когда культурные растения имеют желтый цвет, а сорняки зеленый. Приводятся алгоритм и результаты обработки RGB-изображений БПЛА.

Ключевые слова: изображение RGB, растение, индекс зелены, БПЛА.

Обнаружение растений по изображениям сельскохозяйственных культур, сделанным при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), является важным шагом для мониторинга развития и роста сельскохозяйственных культур. Методы, основанные на видимом спектральном индексе, основаны на предположении, что растения демонстрируют явную высокую степень зелени, а почва является единственным элементом фона. Фактически на яркость и контрастность изображения, получаемого вне помещения, серьезно влияют погодные условия и время съемки. Цвет растения, как правило, изменяется от темно-зеленого до ярко-зеленого. Элементы фона помимо почвы могут содержать солому сельскохозяйственных культур, соломенную золу. Данные факторы окружающей среды мешают правильной работе методов, основанных на видимом спектральном индексе. На качество изображения, снятого на открытом воздухе, влияют различные факторы, включая освещение, цвет листьев и фон. Освещенность зависит от погодных условий и времени съемки. Глубина окраски растительности варьируется от темно-зеленого до ярко-зеленого. Это типичные ситуации на сельскохозяйственных (СХ) изображениях, сделанных на открытом воздухе [1].

Целью работы является разработка алгоритма распознавания сельскохозяйственных растений по RGB-изображениям, полученным с борта БПЛА. В качестве объекта исследования взяты изображения СХ поля, полученные с борта БПЛА, предметом исследования являются сельскохозяйственные растения.

Принцип идентификации зелени на цветных изображениях

Одним из методов идентификации зелени на цветных изображениях является вычисление коэффициента зелены «Greenness». Коэффициент зелены позволяет выделить необходимую растительность посредством оценки гистограммы зеленого G-канала исходного изображения, где максимальные значения гистограммы, как правило, соответствуют наиболее ярко выраженным участкам растительности. Посредством сравнения гистограммы исходного изображения и гистограммы G-канала, можно выделить зеленые участки наибольшей растительности.

Обработка изображений и их анализ

Чтобы оценить коэффициент зелены, необходимо предварительно провести нормализацию каждого из цветовых каналов в соответствии с выражениями (1)–(3).

$$R = \frac{r}{r + g + b}, \quad (1)$$

$$G = \frac{g}{r + g + b}, \quad (2)$$

$$B = \frac{b}{r + g + b}, \quad (3)$$

где r , g и b – красный, зелёный и синий каналы соответственно [2].

В качестве исходного изображения выступает изображение поля на рис. 1, необходимо выделить и сделать более отчетливыми места растительности.



Рис. 1. Снимок изображения поля

Для проверки достоверности полученных результатов коэффициент зелены вычисляется двумя методами по выражению (2) и выражению (4):

$$Gr = 2 \cdot G - R - B, \quad (4)$$

где G , R и B – нормализованные каналы.

После вычислений коэффициентов зелены и замены исходного зеленого канала на коэффициент Gr получена гистограмма коэффициента зелены на рис. 2 и обработанное изображение на рис. 3 с

более чётким выделением зелени. Все менее значимые детали на изображении окрашены в розовый.

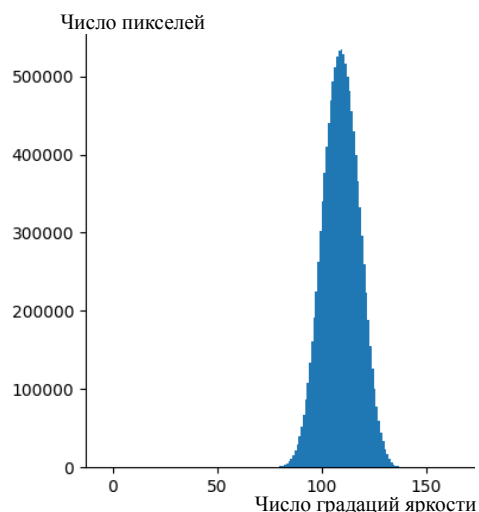


Рис. 2. Гистограмма обработанного изображения

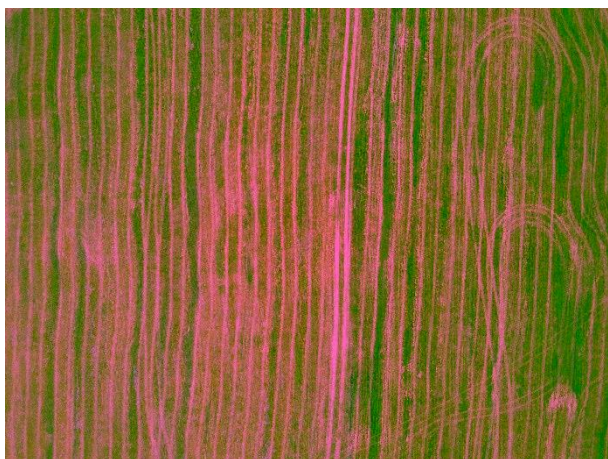


Рис. 3. Результаты выделения зелени

Для получения полноценной информации о полученных данных необходимо рассчитать, в каком разрешении проводилась обработка в соответствии на один пиксель изображения. Расчёты проводятся в соответствии с формулой (5):

$$H = \frac{2D \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{px}, \quad (5)$$

где D – высота полёта БПЛА (около 99,6 м), (см. рис. 3); α – поле зрения аппаратуры (для DJI Mavic

это 87°); px – количество пикселей на изображении (4000×3000 пикселей).

Используя формулу (5), было получено значение разрешения изображения на рис. 1, $H = 4,75$ см/px (для стороны изображения 4000 px).

Заключение

В работе предложены методы выявления сельскохозяйственных растений со снимков, полученных на борту БПЛА. Особенностью применения данных методов считается высокое качество представленных результатов и простота анализа гистограмм изображений с использованием коэффициента зелёности «Greenness». За счёт правильности оценки гистограммы можно добиться более высокой чёткости выделения растительности. Удобство предложенного метода состоит в том, что алгоритм выделяет растения с высокой точностью, позволяя при этом отказаться от дополнительных анализов исходного изображения. Тем не менее необходимо отметить, что возможность применения предложенного алгоритма в реальном времени вычислительно затратно и, следовательно, накладывает определённые требования на вычислительное устройство.

Литература

1. Information Processing in Agriculture / Wenzhu Yang, Sile Wang, Xiaolan Zhao, Jingsi Zhang, Jiaqi Feng // The Journal of the China Agricultural University. – 2013. – Vol. 2. – P. 149–160.
2. Easy leaf area: automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area / Hsien Ming Easlson, Arnold j. Bloom // Applications in Plant Sciences. – 2014. – P. 4.

Катаев Михаил Юрьевич

Д-р техн. наук, профессор каф. автоматизированных систем управления (АСУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-913-883-32-33
Эл. почта: kmy@asu.tusur.ru

Рябухин Владимир Васильевич

Магистрант каф. АСУ ТУСУР Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36
Эл. почта: vovan.r.98@mail.ru

УДК 004.588

А.А. Согомонянц, Е.С. Польшцев, И.Д. Шабалин, Е.С. Шандаров

Использование социального робота для увеличения интерактивной составляющей электронных образовательных ресурсов

Рассмотрена задача интеграции социального робота в образовательный процесс с целью повышения интерактивности электронных образовательных ресурсов (ЭОР). Разработаны концепция, архитектура, протокол и ПО для реализации взаимодействия интерактивного веб-приложения и социального робота. Проведены испытания в школах и учреждениях дошкольного образования.

Ключевые слова: социальный робот, электронное образование, интерактивность, электронный образовательный ресурс.

Использование электронных образовательных ресурсов (ЭОР) в школе предусмотрено требованиями Федерального государственного образовательного стандарта. Тем не менее эффективность использования ЭОР, тем более при дистанционном обучении, до сих пор остается предметом дискуссий.

В работах [1–3] сообщалось об интеграции социального робота в образовательный процесс. Разработанные сценарии взаимодействия робота и ребенка тестировались в ходе массовых детских мероприятий, а также в школах, на уроках воспитанников младшего звена. Опыт показывает [4, 5], что добавление робота в образовательный процесс помогает существенно увеличить интерес к изучаемой дисциплине, разнообразить уроки и снизить нагрузку на учителя, что в целом позволяет судить об эффективности интеграции робота в образовательный процесс.

В данной работе рассматривается задача интеграции социального образовательного робота с ЭОР для повышения уровня интерактивности и стимулирования интереса учащегося к обучению.

Электронное образование и социальная робототехника

Согласно ГОСТ 52653–2006, ЭОР – это образовательный ресурс, представленный в электронно-цифровой форме и включающий в себя структуру, предметное содержание и метаданные о них. Основной платформой для современных ЭОР являются интерактивные веб-приложения, загружаемые на компьютер учащегося с облачных сервисов. Одним из свойств, которым должен обладать современный ЭОР, является интерактивность [6], которая повышает вовлеченность учащегося в процесс обучения.

Социальный робот – машина, предназначенная для взаимодействия робот–человек. Различают огромное число таких машин: консультанты и помощники, индивидуальные ассистенты. В работах [7, 8] предложено использовать социального робота в образовательном учреждении, где он может играть роль помощника учителя при работе с детьми младшего школьного возраста.

В процессе работы над проектом № 44682 «Разработка программного комплекса поддержки нейросетевых алгоритмов интеллектуальной робототехнической системы обучения и развития ребенка»

по программе «Развитие-НТИ» и наблюдая процесс массового дистанционного обучения весной 2020 г. в России, нами было сделано предположение о том, что интеграция ЭОР и социального образовательного робота может внести новый уровень интерактивности, добавить новый канал взаимодействия ребенок – ЭОР, повысить вовлеченность в процесс обучения.

Таким образом, перед нами была поставлена задача создания программно-аппаратного комплекса, реализующего взаимодействие ЭОР–робот.

Реализация

В данном случае имеет смысл говорить о комплексе, который в рамках проекта получил название интеллектуальная обучающая платформа (ИОП). ИОП представляет собой программно-аппаратный комплекс, включающий в себя компьютер (ПК, ноутбук или планшет), на котором происходит воспроизведение ЭОР и связанного с ним социального человекоподобного робота. Робот оснащен ПО, реализующим функции, предназначенные для включения человекоподобного социального робота в процесс обучения с использованием ЭОР. Таким образом, робот может эффективно дополнить и «оживить» процесс обучения. Робот может озвучивать голосом текстовые задания ЭОР, «подбадривать» учащегося голосом и анимациями при выполнении заданий тестов, возможно использование иных мультимедийных возможностей робота для расширения каналов взаимодействия учащийся–ЭОР. Для выполнения работы мы использовали модель робота NAO от компании Softbank Robotics (рис. 1).



Рис. 1. Робот NAO на испытаниях в Кисловской СОШ

Для интеграции робота и существующих электронных образовательных ресурсов необходимо разработать интерфейс, который позволил бы относительно легко, не производя значительных изменений в исходном коде ЭОР, интегрировать робота и ЭОР. В дальнейшем предполагается, что ЭОР имеют встроенные функции работы с сетью Интернет и протоколом HTTP.

Нами была разработана архитектура системы, схема взаимодействия компонентов в которой представлена на рис. 2.

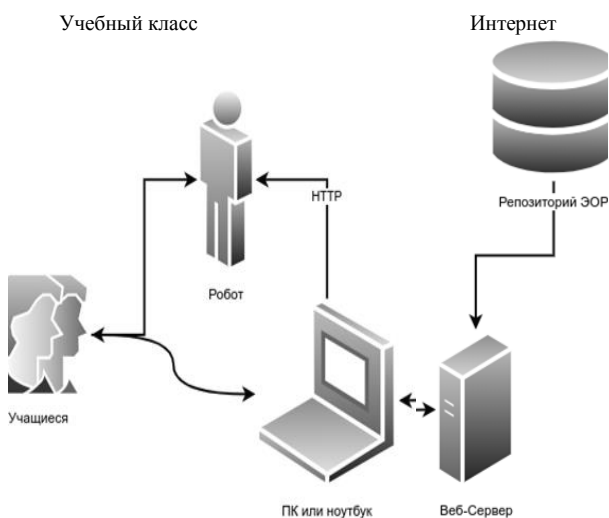


Рис. 2. Схема взаимодействия компонентов

Для организации сопряжения робота и ПК необходимо, чтобы они находились в одной сети, поддерживающей протокол TCP/IP, и в едином адресном пространстве IP. На роботе должен быть запущен сервис веб-сервера с поддержкой протоколов HTTP/HTTPS. В этом случае робот является ведомым, веб-приложением ЭОР – ведущим в связке.

Порядок работы: 1) подключение к роботу (и авторизация); 2) работа с роботом; 3) отключение от робота.

Функции робота

В процессе совместной работы робот может выполнять следующие роли: озвучиватель текстовых строк из веб-приложения; аниматор действий по указанию веб-приложения; обработчик голосовых команд от пользователя для передачи их веб-приложению (в перспективе); обработчик изображений (распознавание изображений) для передачи результатов распознавания веб-приложению (в перспективе).

Протокол взаимодействия

Для обеспечения взаимодействия был разработан протокол. Основные свойства: 1) взаимодействие происходит поверх протокола HTTP; 2) ПК отправляет на робота HTTP-запрос, робот обрабатывает команду и отправляет ответ ПК; 3) общий формат команд:

`http://<robot_ip>/do/<function_name>/?<params>`

На текущий момент в системе реализованы следующие функции:

- Connect – подключает веб-приложение к роботу;

- Disconnect – отключает веб-приложение от робота;
- TextToSpeech – робот произносит голосом переданную ему текстовую строку;
- HandMove – робот поднимает руку;
- EyesBlink – робот моргает глазами;
- HeadMove – робот двигает головой;
- FistAction – робот сжимает / разжимает пальцы руки.

ПО робота функционирует в ОС робота и взаимодействует с «миром» через встроенный веб-сервер lighttpd. CGI-скрипты робота написаны на языке python. Для выполнения специфических действий робота используется библиотека NAOqi.

ПО встраиваемое в ЭОР

Поскольку интерфейс взаимодействия с роботом обеспечивается через протокол HTTP поверх интернет-соединения, вызвать функции робота можно, например, из веб-страницы с помощью скриптов на JavaScript.

Испытания и обсуждение

Апробация разработанного программно-аппаратного комплекса производилась в полевых условиях в следующих случаях:

- Российский национальный этап Международного чемпионата по робототехнике RoboCup Russia Open 2019, г. Томск, апрель 2019 г.: участие в выставке, проведение экскурсий и демонстраций.
- MAOU «Гимназия № 56», г. Томск, май 2019 г.: участие в уроке 3-го класса.
- МБОУ «Кисловская СОШ» Томского района, сентябрь 2019 г.: участие в открытии «Точки роста».
- МБОУ «Кисловская СОШ» Томского района, сентябрь 2019 г.: проведение экскурсий и демонстрации робота для учеников 1–2-х классов.
- Международная выставка «Китайская промышленная ярмарка China International Industry Fair», г. Шанхай, сентябрь 2019 г.: участие в выставке экспозиции Министерства науки и высшего образования РФ.
- Московский международный форум инновационного развития «Открытые инновации 2019», г. Москва, сентябрь 2019: участие в выставке экспозиции Министерства науки и высшего образования РФ.

Основные задачи, поставленные на этапе апробации:

Надежность: тестирование разработанного ПО на надежность эксплуатации (отсутствие «зависаний», перезагрузок робота и ПК, надежность связи между компонентами).

Помехозащита: тестирование ПО на помехоустойчивость (работа в режиме фонового шума, распознавание изображений в условиях изменяющегося освещения, работа с большим количеством одновременно находящихся рядом с роботом людей и пр.).

Восприимчивость: тестирование разработанных приложений на их восприимчивость пользователями (для педагога: понятный и очевидный порядок действий по запуску и эксплуатации ПО; для детей: понятный и очевидный способ взаимодействия с роботом и веб-приложениями).

Эксплуатация: для технического специалиста: возможность быстрого развертывания аппаратно-

программного комплекса в полевых условиях, быстро устранить возникших проблем.

После каждого этапа апробации рабочая группа представляла результаты и выводы о необходимости модификации аппаратно-программного комплекса. Как правило, к следующему этапу были произведены модификации комплекса.

Состав аппаратного комплекса:

- сервер БД и контента (Ubuntu Linux);
- человекоподобный социальный робот Softbank Robotics NAO;
- ноутбук с сенсорным экраном для демонстрации веб-приложений;
- коммуникационное оборудование (Wi-Fi-роутер).

Основные результаты апробации:

- Надежность: «хорошо», использование ноутбука в качестве веб-сервера БД и контента отличное решение: легко перевозить, высокая надежность, разворачивание. При продолжительном времени эксплуатации наблюдались перегрев и нестабильная работа робота; время задержки запросов от веб-приложения к роботу возрастало до 1–3 с. Данные негативные моменты связаны с аппаратными ограничениями робота. Точность распознавания речи – 40–60% в зависимости от уровня фонового шума.

- Помехозащита: «отлично», распознавание изображений «отлично», был очень солнечный день, робот располагался рядом с окном, распознавание русской речи «отлично», даже с учетом того, что помещение очень маленькое, а плотность людей высокая, дети дисциплинированные. Время распознавания изображений – 0,5–1,5 с.

- Восприимчивость: «хорошо», сотрудники рабочей группы проводили короткий инструктаж, дети быстро поняли, как управлять роботом и с ним взаимодействовать, веб-приложения могли бы выглядеть интереснее.

- Эксплуатация: «отлично», разворачивание проводилось в сжатые сроки в очень неудобных помещениях, в процессе работы сбоев не было.

Заключение

Произведена интеграция ЭОР, функционирующего в среде браузера, и человекоподобного социального робота NAO. Применение робота позволило увеличить интерактивную составляющую ЭОР, повысить вовлеченность ребенка в процесс обучения, оснастить ЭОР дополнительным каналом взаимодействия. Сделаны выводы о перспективности разработки. Сформулированы ТЗ по интеграции робота и облачной ЭОР «Облако знаний», компания «Физикон», г. Долгопрудный.

В процессе совместной работы робот может озвучить текстовые строки из веб-приложения; анимировать действия по указанию веб-приложения; обработать голосовые команды от пользователя для их передачи веб-приложению (в перспективе); распознать изображение для передачи результатов распознавания веб-приложению (в перспективе).

Согласно проведенным испытаниям, сделан вывод: в качестве робота можно использовать практически любую платформу, оснащенную wifi, голосовым

синтезатором и минимальным набором световых индикаторов для добавления интерактивности (например, визуализации настроения, интонации и т.д.). Под подобные требования подходят умные колонки со встроенными голосовыми помощниками (например, Яндекс-станция мини).

Литература

1. Разработка сценариев «робот–ребенок» для социального робота / И.Ю. Проказина, О.В. Тертишная, А.А. Павлова, И.Д. Шабалин, Е.С. Полынцев // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУРа: матер. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019». – 2019. – Ч. 4. – С. 301–304.

2. Шандаров Е.С., Зимина А.Н., Ермакова П.С. Анализ поведения робота-ассистента в рамках разработки сценариев взаимодействия робот–ребенок // Гуманитарная информатика. – 2014. – № 8. – С. 52–64.

3. Климов А.А. Система управления приложениями для социального робота / А.А. Климов, Е.С. Полынцев, И.Д. Шабалин, Е.С. Шандаров // Матер. докладов XV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – 2019. – Ч. 2. – С. 108–110.

4. Полынцев Е.С. Система интеграции социального робота и интерактивного web-приложения / Е.С. Полынцев, А.А. Климов, А.Е. Кодоров, И.Ю. Проказина // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУРа: матер. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019». – 2019. – Ч. 4. – С. 299–301.

5. Zimina A., Zolotukhina P., Shandarov E. Robot-Assistant Behaviour Analysis for Robot-Child Interactions // In International Conference on Interactive Collaborative Robotics. – Springer, Cham, 2017. – September. – P. 219–228.

6. Шарабайко О.Г. Интерактивные электронные ресурсы в информатизации современного образования: теоретический аспект // Вести БДПУ. – 2015. – № 3 (85). – С. 22–26.

7. Архитектура комплекса ПО интеллектуальной робототехнической системы обучения и развития ребенка / И.Ю. Проказина, А.А. Согомонянц, А.А. Павлова, А.Е. Кодоров, Е.С. Шандаров // Матер. докл. XV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – 2019. – Ч. 2. – С. 111–113.

8. Антропоморфный робот-помощник воспитателя дошкольного учреждения / А.Н. Зимина, Д.И. Ример, Е.В. Соколова, Е.С. Шандаров, О.Е. Шандарова // Матер. докл. XI Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – 2015. – Ч. 2. – С. 108–113.

Согомонянц Алина Александровна

Студентка каф. ЭП ТУСУРа
Эл. почта: alina.sogomonyants@gmail.com

Полынцев Егор Сергеевич

Студент каф. ФЭ ТУСУРа
Эл. почта: e.polyntsev@gmail.com

Шабалин Илья Дмитриевич

Студент каф. ЭП ТУСУРа
Эл. почта: shabalin_ilya_omu@mail.ru

Шандаров Евгений Станиславович

Зав. лаб. робототехники и искусственного интеллекта,
ст. преп. каф. ЭП ТУСУРа
Эл. почта: evgenyshandarov@gmail.com

УДК 519.713

Е.В. Широкова, В.А. Шварцкоп

Оптимизация компонентов автоматных сетей

Рассматривается задача оптимизации дискретных многомодульных систем. Предлагаемая оптимизация основана на итеративной покомпонентной оптимизации. Подход основан на использовании так называемых «безразличных» входных последовательностей компонента, т.е. последовательностей, которые не могут появиться на входе оптимизируемого компонента в композиции. Экспериментальные результаты показали, что предложенный подход эффективен для автоматных сетей, компоненты которых могут быть оптимизированы перед дальнейшей аппаратной реализацией.

Ключевые слова: конечный автомат, синхронная композиция конечных автоматов, автоматное уравнение.

Оптимизация многомодульных систем всегда являлась актуальной задачей, и одним из перспективных подходов является покомпонентная оптимизация. В данной работе предполагается, что поведение каждого компонента системы описывается конечным автоматом, а взаимодействие подсистем описано с помощью операции синхронной композиции автоматов [1].

В общем случае для оптимизации компонента B в композиции необходимо решать автоматное уравнение вида $A \bullet X \cong A \bullet B$ [2], где автомат A описывает совместное поведение всех других компонентов композиции. Но сложность поиска общего решения такого уравнения, из которого можно извлечь оптимальную реализацию B , очень высока [1]. С другой стороны, известно [2], что в композиции можно выделить «окно» и оптимизировать интересующий компонент в данном «окне». Также известно, что сложность решения автоматного уравнения меньше для некоторых топологий композиции. Например, для случая, когда «окно» содержит последовательную композицию и оптимизируется хвостовой компонент такой композиции.

В [3] также рассматривается подход, основанный на выделении «окон». Однако в [3] рассматриваются более сложные «окна», в которых композиция не обязательно является последовательной. Кроме того, в [3] оптимизация проводится относительно таких критериев, как линии связи, отказоустойчивость по отношению к определенным сбоям и др. Авторы не рассматривают оптимизацию относительно числа элементов в логической схеме компонентов, т.е. оптимизацию относительно аппаратных реализаций автоматных сетей.

В [4] предлагается оптимизация сетей, состоящих из структурных автоматов, с использованием внутренних «безразличных» последовательностей на основе решения задачи выполнимости булевых формул. Авторы [5] помимо входных «безразличных» последовательностей рассматривают выходные «безразличные» последовательности, нахождение которых очень трудоемко.

В [6] авторы показывают, что в некоторых случаях при оптимизации систем эффективнее решать не одно автоматное уравнение, а систему таких уравнений.

В настоящей работе предлагается подход к оптимизации последовательных автоматных сетей относительно числа элементов в логической схеме компонентов [4, 7], т.е. оптимизацию относительно аппаратных реализаций автоматных сетей. Предлагаемый подход основан на построении сетевого эквивалента хвостовой компоненты бинарной последовательной композиции по алгоритму, предложенному в [8].

Основные определения и обозначения

Инициальный конечный автомат S [9] представляет собой пятерку (S, I, O, s_0, T_S) , где S – конечное непустое множество состояний с выделенным начальным состоянием s_0 ; I и O – входной и выходной алфавиты; $T_S \subseteq S \times I \times O \times S$ – отношение переходов. Конечный автомат рассматривается как преобразователь последовательностей в одном (входном) алфавите в последовательности в другом (выходном) алфавите. Такие автоматы могут быть использованы для описания поведения цифровых элементов, телекоммуникационных протоколов и т.д.

Автомат S называется полностью определенным, если из каждого состояния под воздействием каждого входного символа существует хотя бы один переход в другое состояние с выработкой выходного символа. В противном случае автомат S называется частичным. Автомат S называется детерминированным, если из каждого состояния под воздействием каждого входного символа существует не более одного перехода в другое состояние с выработкой выходного символа. В противном случае автомат называется недетерминированным. Язык (поведение) конечного автомата S в состоянии s (обозначается как $L_S(s)$) [2] представляет собой множество последовательностей входо-выходных пар в алфавите $I \times O$, полученных последовательными переходами из состояния s .

Состояния s_i и s_j полностью определенных детерминированных автоматов S_1 и S_2 эквивалентны, если автомат S_1 в состоянии s_i и автомат S_2 в состоянии s_j вырабатывают одинаковые выходные последовательности для каждой входной последовательности [9]. В противном случае состояния s_i и s_j называются различимыми. Инициальные детерминированные полностью определенные конечные автоматы эквивалентны, если их начальные состояния эквивалентны. Автомат называется приведенным, если любые два

различных состояния различимы. Приведенная форма S – это приведенный автомат, эквивалентный S . Приведенная форма автомата S с минимальным числом состояний называется минимальной формой автомата S .

Для детерминированных частичных автоматов вводится понятие квазиэквивалентности [10]. Поведение частичного автомата в состоянии s может быть не определено на некоторых входных последовательностях. Пусть $\Omega_A(s)$ – множество входных последовательностей, на которых поведение частичного автомата A в состоянии s определено. Состояние a частичного автомата $A = (A, I, O, a_0, T_A)$ квазиэквивалентно состоянию s частичного автомата $S = (S, I, O, s_0, T_S)$ (обозначается как $a \cong s$), если $\Omega_A(a) \supseteq \Omega_S(s)$ и если автомат A в состоянии a и автомат S в состоянии s под воздействием каждой последовательности $\alpha \in \Omega_S(s)$ выдают одинаковые выходные последовательности.

Инициальный автомат A квазиэквивалентен инициальному автомату B ($A \cong B$), если начальное состояние конечного автомата A квазиэквивалентно начальному состоянию конечного автомата B . Инициальный, возможно частичный, приведенный автомат A называется приведенной формой частичного автомата B , если автомат A квазиэквивалентен автомату B . Приведенная форма с минимальным числом состояний называется минимальной формой конечного автомата B . Частичный автомат может иметь несколько минимальных попарно неизоморфных форм, но все они имеют одинаковое число состояний.

Следует отметить, что существуют эффективные методы построения минимальной формы детерминированного полностью определенного автомата. Также много работ посвящено проблеме построения минимальной формы для детерминированного частичного конечного автомата (например, [7, 11]).

Обычно сложные системы (например, цифровые схемы) являются многомодульными и могут быть представлены в виде композиции взаимодействующих компонентов, и, таким образом, следующим шагом является определение операции композиции. В настоящей работе рассматривается так называемая синхронная композиция инициальных полностью определенных детерминированных автоматов [1], в которой каждый входной сигнал обрабатывается за один такт и которая обычно используется для описания композиции аппаратных компонентов.

На рис. 1 приведена синхронная композиция автоматов A и B .

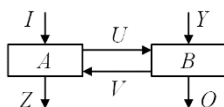


Рис. 1. Синхронная композиция автоматов A и B

Компонент A имеет входной алфавит $I \times V$ и выходной алфавит $U \times Z$; компонент B имеет входной алфавит $Y \times U$ и выходной алфавит $V \times O$. Композиция автоматов A и B (обозначается как $A \bullet B$) имеет входной алфавит $I \times Y$ и выходной алфавит $Z \times O$. Выходно-выходной символ $(iyzo) \in I \times Y \times Z \times O$ принадлежит языку

композиции $A \bullet B$, если и только если существует соответствующая пара внутренних символов $uv \in U \times V$ такая, что $(ivuz) \in L_A$ и $(yuvo) \in L_B$. В данной статье рассматривается частный случай синхронной композиции, а именно, последовательная композиция автоматов A и B над алфавитами I, U, O .

Покомпонентная оптимизация синхронной композиции конечных автоматов

Для покомпонентной оптимизации синхронной композиции автоматов могут быть рассмотрены два подхода. Первый подход основан на оптимизации каждого компонента по отдельности. Обычно для решения такой задачи строят приведенную форму компонента, поскольку, как показывают эксперименты (разд. «Экспериментальные результаты»), для приведенной формы конечного автомата количество вентилей соответствующей логической схемы в большинстве случаев уменьшается. Во втором случае компоненты композиции оптимизируются в зависимости от поведения других компонентов. В работе [2] показано, что поведение композиции автоматов может сохраняться, даже если компонент заменяется на неэквивалентный ему автомат. Обычно для проведения такой оптимизации прибегают к явному или неявному решению автоматных уравнений.

В некоторых случаях, когда компоненты композиции не могут быть оптимизированы как независимые компоненты, можно попытаться оптимизировать их относительно только тех входных последовательностей, которые могут на них поступить.

Рассмотрим последовательную композицию полностью определенных автоматов A и B (рис. 2). Поведение хвостового компонента B влияет на внешнее поведение данной композиции только на тех входных последовательностях, которые могут поступить на него от компонента A . Таким образом, для хвостового компонента B можно построить частичный автомат B' , поведение которого определяется только для выходных последовательностей головного компонента; более того, для таких последовательностей поведение автоматов B и B' одинаково.

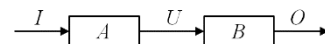


Рис. 2. Последовательная композиция автоматов A и B

Сетевым эквивалентом хвостового автомата-компонента B является частичный автомат B' , поведение которого определено только на выходных последовательностях головного автомата-компонента, и автомат B квазиэквивалентен автомату B' .

Пусть $S = (S, I_S, O_S, T_S, s_0)$ – конечный автомат, «обратным» автоматом для S является автомат $S^* = (S, O_S, I_S, T^*_S, s_0)$, где $T^*_S \subseteq S \times O_S \times I_S \times S$, т.е. автомат, в котором входы и выходы меняются местами [8].

Для построения сетевого эквивалента хвостового компонента используются следующие шаги [8]. На первом шаге строится «обратный» автомат для головного компонента A и удаляются входные символы на всех переходах. Получаем полуавтомат A^* , множество действий которого совпадает со множеством выходов исходного конечного автомата, а множество

трасс – это множество выходных последовательностей, которые может произвести конечный автомат A .

На следующем шаге, если A^* – недетерминированный полуавтомат, его необходимо детерминизировать. Получим полуавтомат $\text{Det}(A^*)$.

На заключительном этапе строится пересечение полученного детерминированного полуавтомата $\text{Det}(A^*)$ и хвостового компонента B . Для этого необходимо построить все пары состояний полуавтомата $\text{Det}(A^*)$ и хвостового компонента B , затем определить переходы между этими парами следующим образом: если для $\text{Det}(A^*)$ существует переход (a, u, a') , а для B есть переход (b, u, o, b') , то переход $(ab, u, o, a'b')$ определяется в пересечении. Состояния пересечения, недоступные из начального состояния (a_0, b_0) , удаляются. Результирующий частичный автомат B' является сетевым эквивалентом хвостового компонента B .

Утверждение 1 [8]. Конечный автомат B квазиэквивалентен конечному автомату B' , построенному с помощью описанных выше шагов. Кроме того, поведение конечного автомата B' определяется на тех и только тех последовательностях, которые являются выходными последовательностями головного компонента A .

Согласно приведенному выше утверждению, любая приведенная форма B' может заменить хвостовой компонент B без изменения внешнего поведения последовательной сети.

В качестве примера рассмотрим последовательную композицию автоматов A и B (рис. 3).

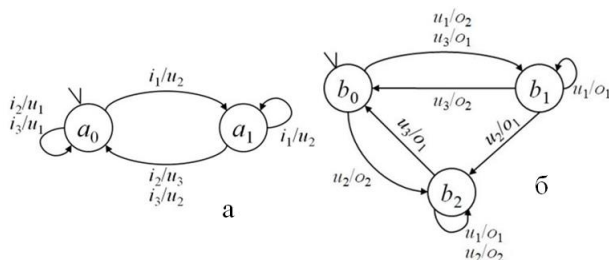


Рис. 3. Автомат A – а, автомат B – б

На первом шаге строится обратный полуавтомат A^* для головного компонента A (рис. 4, а). Далее необходимо детерминизировать полуавтомат A^* , т.е. получить $\text{Det}(A^*)$. Для того чтобы получить сетевой эквивалент B' хвостового компонента B строится пересечение полуавтомата $\text{Det}(A^*)$ и автомата B . Автомат B' является частичным, приведенная форма автомата B' показана на рис. 4, б.

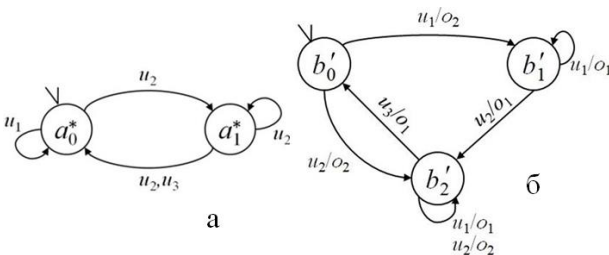


Рис. 4. Обратный автомат A^* – а; сетевой эквивалент B' – б

Сравнивая полученный сетевой эквивалент B' с исходным автоматом B , можно заметить, что в B'

меньше переходов, чем в B . Удаленные переходы являются «безразличными» переходами и могут быть расширены любым способом в аппаратной реализации компонента B .

Оптимизация компонентов многомодульной синхронной композиции на основе итеративного выделения «окон»

Рассмотрим пример сети, состоящей из трех автоматов (рис. 5). В данной сети можно выделить «окно» с последовательной композицией автоматов A и B .

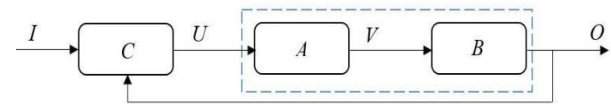


Рис. 5. Сеть из трех автоматов с обратной связью

Поведение хвостового компонента B имеет значение для внешнего поведения данной сети только на тех входных последовательностях, которые могут поступить на него от компонента A . Другие входные последовательности не влияют на поведение композиции. Как показали эксперименты, проведенные с полностью определенными и частичными автоматами, приведенная форма данного конечного автомата обычно имеет более простую реализацию относительно количества вентилях в аппаратной реализации, т.е. имеет смысл заменить компоненты исходной композиции на приведенные формы их сетевых эквивалентов (если это возможно).

Следует отметить, что в многомодульных системах возможно итеративно выделять последовательность «окон», то есть выделить «окно», оптимизировать хвостовой компонент, а затем выделять другое «окно». Ниже представлен алгоритм оптимизации синхронной композиции автоматов, состоящей из N компонентов, на основе итеративного выбора последовательных «окон» в композиции.

Вход: синхронная композиция автоматов, состоящая из N компонентов.

Выход: оптимизированная синхронная композиция автоматов, состоящая из N компонентов.

Шаг 1. Пусть i – счетчик (номер текущего компонента композиции), $i = 1$.

Шаг 2. Если $i = N$, то Конец. В противном случае необходимо определить такой соседний компонент S компонента A_i , что композиция $A_i \cdot S$ является последовательной. Если такой компонент есть, то переход к шагу 3. Если таких компонентов нет, то $i = i + 1$, переход к шагу 2.

Шаг 3. Для найденной композиции $A_i \cdot S$ строится сетевой эквивалент S' .

Шаг 4. Для полученного сетевого эквивалента S' строится приведенная форма S'' . Если приведенная форма имеет меньше состояний или меньше переходов, чем исходный компонент, то необходимо заменить компонент композиции S на S'' . $i = i + 1$, переход к шагу 2.

Конец алгоритма.

Утверждение 2. Композиция, построенная по приведенному выше алгоритму, эквивалентна исходной композиции.

Экспериментальные результаты

В настоящей работе проводилась оценка аппаратных реализаций конечных автоматов. Для этого была использована платформа Altera Cyclone V GX [12]. Входными файлами являются Verilog-файлы [13] формата .v, которые компилируются в Quartus II Web Edition (программное обеспечение для проектирования логических схем, поставляемое вместе с платформой Altera). После компиляции Verilog-файла становится возможным просмотреть отчет о компиляции, в котором, помимо прочего, представлены данные о размере реализации в ALM (Adaptive Logic Module). Один ALM платформы Cyclone V имеет 8-входовую таблицу истинности, 2 полных сумматора и 4 регистра [14]. Сравнение сложности аппаратных реализаций автоматов выполнялось относительно количества ALM в соответствующей реализации.

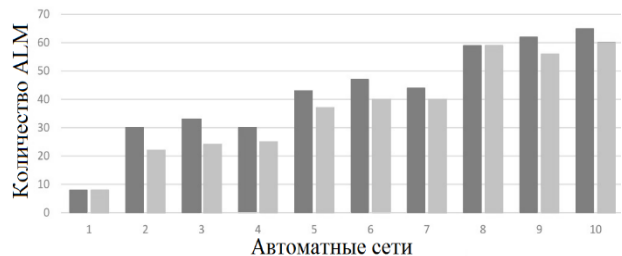
Для оценки количества ALM в аппаратных реализациях конечных автоматов был использован следующий подход. Файл-описание конечного автомата (формат .fsm), содержащий четверки переходов (s, i, o, s') автомата, преобразовывался в формат описания логической схемы [7], т.е. в схемы из элементов задержки (триггеров) и вентилях (элементы, реализующие простые логические функции, такие как конъюнкция, дизъюнкция, инверсия). Поведение схемы описывалось в BLIF-формате (Berkeley Logic Interchange Format), который представляет собой текстовый формат для описания логических схем. Файлы .blif были созданы с помощью инструмента FSMtoBLIF [15]; на следующем этапе с помощью программы ABC [16] были сгенерированы Verilog-описания соответствующих схем.

На первом этапе экспериментов проводилось сравнение размеров FPGA-реализаций (Field-Programmable Gate Array – программируемая пользователем вентильная матрица) исходного неприведенного конечного автомата и его приведенной формы. Целью данных экспериментов было выяснить, как часто минимизация компонентов приводит к оптимизации соответствующей FPGA-реализации конечного автомата (с точки зрения количества ALM). Было сгенерировано 50 неприведенных автоматов, после минимизации которых количество состояний было уменьшено минимум на 10% и максимум на 50%.

Тем не менее минимизация конечного автомата не всегда приводит к уменьшению количества ALM в его аппаратной реализации. Но можно утверждать, что эти случаи довольно редки и происходят, когда количество состояний минимального конечного автомата уменьшается примерно на 1% по сравнению с исходным автоматом. В случае минимизации с уменьшением числа состояний минимального автомата на 10% и более оптимизация с использованием минимальной формы автомата представляется эффективной: в ходе экспериментов было получено уменьшение размеров схем относительно количества ALM не менее чем на 6% (в среднем на 20%). В следующих экспериментах по оптимизации сетей все автоматы-компоненты минимизируются перед дальнейшими операциями над ними.

На втором этапе экспериментов сравнивались FPGA-реализации исходного хвостового компонента и его сетевого эквивалента относительно количества ALM. Были сгенерированы 25 бинарных последовательных композиций. Для первых экспериментов были взяты небольшие автоматы, в которых количество состояний головного компонента варьировалось от 3 до 6, количество состояний хвостового компонента – от 4 до 15. Количество внешних входных символов – от 4 до 8, количество внутренних символов составляло 4, а количество внешних выходных символов варьировалось от 2 до 4. Эти автоматы были реализованы только программно, поскольку их реализации в ALM были слишком малы (≤ 5 ALM) для сравнения. Для данных автоматов построение сетевого эквивалента хвостового компонента в большинстве случаев приводило по крайней мере к оптимизации количества переходов в хвостовом компоненте.

На следующем этапе экспериментов были сгенерированы последовательные бинарные композиции с 8 внешними входными и выходными символами и 16 внутренними символами. Количество состояний хвостовых компонентов варьировалось от 8 до 17. Для этих композиций получен следующий результат, который показан для 10 выбранных композиций на рис. 6: в 70% случаев уменьшалось число переходов в хвостовом компоненте и соответственно количество ALM в FPGA-реализации; полностью идентичный хвостовому компоненту сетевой эквивалент получался в 20% случаев; в 10% случаев уменьшалось число переходов и состояний в хвостовом компоненте (автомат 10 на рис. 6) и соответственно количество ALM в реализации FPGA.



■ Исходные компоненты ■ Эквиваленты компонентов
Рис. 6. Гистограмма сравнения FPGA-реализаций хвостовых компонентов и их сетевых эквивалентов для бинарной последовательной сети

Таким образом, достаточно часто для хвостового компонента бинарной последовательной композиции может происходить оптимизация соответствующей FPGA-реализации.

На последнем этапе экспериментов были сгенерированы автоматные сети с обратными связями, число компонентов которых варьировалось от 3 до 5.

На рис. 7 показаны результаты экспериментов для таких сетей. Для каждой сети представлен результат оптимизации «наилучшего» компонента, т.е. компонента, аппаратная реализация которого уменьшилась в большее число раз по сравнению с реализацией исходного компонента.

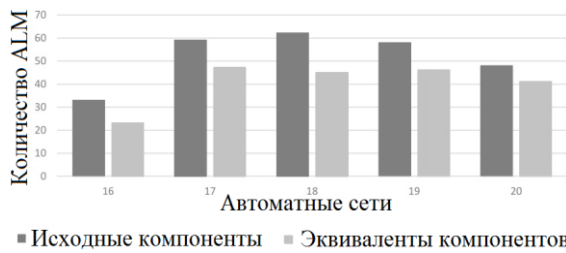


Рис. 7. Гистограмма сравнения FPGA реализаций «наилучших» компонентов для сетей с обратными связями

Таким образом, согласно экспериментальным результатам, можно сделать вывод, что предложенный подход к покомпонентной итеративной оптимизации автоматных сетей представляется эффективным. Тем не менее для использования предложенного подхода при оптимизации реальных многоэлементных дискретных систем необходимы дополнительные экспериментальные исследования. Также в дальнейшем планируется изучить влияние свойств автоматов на сложность их аппаратной реализации; рассмотреть различные виды композиций и влияние топологии композиции на предложенный метод покомпонентной оптимизации.

Литература

1. The Problem of the Unknown Component: from Theory to Applications / T. Villa, N. Yevtushenko, R.K. Brayton, A. Mishchenko, A. Petrenko, A.L. Sangiovanni-Vincentelli // Springer. – 2011. – 323 с.
2. Евтушенко Н.В. Недетерминированные автоматы: анализ и синтез. – Ч. 2: Решение автоматных уравнений: учеб. пособие / Н.В. Евтушенко, М.В. Рекун, С.В. Тихомирова. – Томск: Том. гос. ун-т, 2009. – 111 с.
3. Тихомирова С.В. Оптимизация многокомпонентных дискретных систем на основе решения автоматных уравнений: дис. ... канд. техн. наук. – Томск: Том. гос. ун-т, 2008.
4. Mishchenko A. SAT-based complete don't-care computation for network optimization / A. Mishchenko, R.K. Brayton // The Proceedings of the Design, Automation and Test in Europe Conference. – 2005. – Vol. 01. – P. 412–417.
5. Rho J.-K. Don't care sequences and the optimization of interacting finite state machines / J.-K. Rho, F. Somenzi // IEEE Trans. Comp. Aided Des. – 1994. – Vol. 13, №7. – P. 865–874.
6. Yevtushenko N. Multi component digital circuit optimization by solving FSM equations / N. Yevtushenko, S. Zharkikova, M. Vetrova // Proceedings of the Euromicro Symposium on Digital Systems Design, DSD '03. – 2003. – P. 62–68.
7. Агибалов Г.П. Лекции по теории конечных автоматов / Г.П. Агибалов, А.М. Оранов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1984. – 186 с.
8. Ветрова М.В. Разработка алгоритмов синтеза и тестирования конечно-автоматных компенсаторов: дис. ... канд. техн. наук. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003.
9. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. – М.: Наука, 1966. – 272 с.
10. Евтушенко Н.В. Недетерминированные автоматы: анализ и синтез. – Ч. 1: Отношения и операции: учеб. пособие / Н.В. Евтушенко, А.Ф. Петренко, М.В. Ветрова. – Томск: Том. гос. ун-т, 2006. – 142 с.
11. Закревский А.Д. Логические основы проектирования дискретных устройств / А.Д. Закревский, Ю.В. Поттошин, Л.Д. Черемисинова. – М.: Физматлит, 2007. – 592 с.
12. Сайт фирмы Altera: Cyclone V [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.altera.com/products/fpga/cyclone-series/cyclone-v/overview.html> (дата обращения: 01.09.2020).
13. Сайт Verilog.com: Verilog Resources [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.verilog.com/> (дата обращения: 01.09.2020).
14. Сайт фирмы Altera: Cyclone V Device Overview [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.altera.com/en_US/pdfs/literature/hb/cyclone-v/cv_51001.pdf (дата обращения: 01.09.2020).
15. Громов М.Л. Инструмент FSMtoBLIF // Проект РНФ №16-49-03012. Надежность, безопасность и доверие в системах, используемых в качестве сервисов: масштабируемые решения для эффективного анализа и менеджмента. – 2016–2018 гг.
16. Сайт университета Беркли: ABC – A System for Sequential Synthesis and Verification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://people.eecs.berkeley.edu/~alanmi/abc/> (дата обращения: 01.09.2020).

Широкова Екатерина Владимировна

Ассистент каф. информационных технологий в исследовании дискретных структур НИ ТГУ
Ленина пр-т, д. 36, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: k@shir.su

Шварцкоп Виктор Александрович

Студент магистратуры каф. информационных технологий в исследовании дискретных структур НИ ТГУ
Ленина пр-т, д. 36, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: v.shwarskop@gmail.com

УДК 519.8: 621.316:681.3

И.Г. Яр-Мухамедов

Линейная модель для балансирования фазных нагрузок распределительной электросети

Одним из резервов повышения эффективности использования и снижения потерь в распределительных сетях является обеспечение сбалансированности нагрузок по фазам. Предложена простая модель, основывающаяся на доступных данных оперативного учета расхода электроэнергии и позволяющая выработать управляющие воздействия для оптимизации подключений. Модель преобразована в типовую задачу линейного программирования для решения с помощью типовых программных средств и пакетов.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, баланс фаз, оптимизация, задача линейного программирования.

Обеспечение баланса нагрузок в фазах трехфазной распределительной электросети (РЭС) является одним из важных резервов повышения эффективности электроснабжения, снижения потерь в трансформаторных подстанциях и электрических линиях [1]. Кроме того, это повышает показатели качества предоставляемой энергии, снижает риски выхода из строя электрооборудования абонентов.

Одним из способов балансировки фаз является переключение части потребителей с сильно загруженной фазы на наименее загруженную. Выполнение подобных действий предполагает наличие оперативной информации о текущем электропотреблении как непосредственно на выходе подстанции, так и у отдельных потребителей [2]. Естественно, что для реализации результатов оптимизационных расчетов необходимо наличие средств телеуправления и фазных переключателей абонентских нагрузок.

В настоящее время средства регистрации и учета потребления электроэнергии позволяют получать очень ограниченный набор показателей. Он достаточен для расчетов с абонентами, но вызывает определенные трудности в оценке управляющих воздействий при решении рассматриваемой задачи и, в ряде случаев может оказывать существенное влияние на точность получаемых решений. Предлагаемая постановка задачи предполагает, что характеристики сети и потребителей, не учитываемые явно в модели, имеют близкие к нормативным величины и могут, хотя бы в первом приближении, обеспечить приемлемые результаты балансировки РЭС. Подобные предположения не являются специфическими именно для данной модели. Любое моделирование в явной или неявной форме основано на некоторых допущениях и в обязательном порядке включает лишь наиболее существенные элементы и связи, без которых невозможно получение адекватного решения.

Исходные данные задачи представляются действующими значениями токов на выходе подстанции и действующими значениями токов, потребляемых абонентами сети. Обозначим их как I_{uc}^p . Здесь: p – индекс фазы; $u = \overline{1, n}$ – индекс участка; $c = \overline{1, Nu}$ – индекс потребителя на данном участке.

Введем в рассмотрение логические переменные $X_{uc}^p \in \{0, 1\}$. Единичное значение обозначает наличие соединения абонента с соответствующей фазной линией, а нулевое – отсутствие.

Суммарный ток, потребляемый всеми абонентами одного участка, может быть рассчитан следующим образом:

$$I_u^p = \sum_{c=1}^{Nu} I_{uc}^p X_{uc}^p + I_{u0}^p, \quad u = \overline{1, n}, \quad p = \overline{1, 3}.$$

Здесь под нулевым потребителем участка подразумевается потребитель или группа потребителей, имеющих постоянное подключение именно к данной фазе. Однако этот ток может означать, например, потребление по одной из фаз абонентом, имеющим трехфазное подключение. В любом случае это подключение рассматривается либо как непереключаемое, либо такое, для которого переключение не имеет смысла. Верхний предел суммирования определяется количеством абонентов участка, для которых возможно переключение.

Поскольку однофазная нагрузка не может подключаться одновременно сразу к нескольким фазам, введем ограничение следующего вида:

$$\sum_{p=1}^3 X_{uc}^p = 1, \quad u = \overline{1, n}, \quad c = \overline{1, Nu}.$$

Ток межабонентского участка, непосредственно предшествующего участку u , может быть представлен следующим выражением:

$$I_u^p = \sum_{i=u}^n I_i^p, \quad u = \overline{1, n}, \quad p = \overline{1, 3}.$$

Отклонение значения величины тока от некоторого нормативного (сбалансированного) E_u^p может быть вычислено по формуле

$$D_u^p = I_u^p - E_u^p.$$

В принятых обозначениях критерий баланса нагрузок на выходе подстанции и на каждом из участков сети может быть представлен целевыми функциями

$$|D_u^p| = \min, \quad u = \overline{1, n}, \quad p = \overline{1, 3}.$$

Сразу отметим, что модель, имеющая в своем составе множество целевых функций, да еще и недиф-

ференцируемых, не может считаться приемлемой для решения большинства как теоретических, так и практических задач [3]. Поэтому, исходя из требований нормативной и эксплуатационной документации, а также фактической загруженности сети в целом и ее фрагментов, введем в рассмотрение величины допустимых дисбалансов d_u^p . Тогда целевые функции могут быть заменены парами линейных ограничений вида

$$D_u^p \leq d_u^p, D_u^p \geq -d_u^p, u = \overline{1, n}, p = \overline{1, 3}.$$

Поиск решения на основе предложенной линейной модели может быть осуществлен с использованием любого типового программного пакета, реализующего, например, симплекс-метод и допускающего использование логических либо целочисленных переменных. Необходимо отметить, что большинство подобных программных средств требует обязательного указания целевой функции в явном виде. В подобной ситуации следует сформулировать некоторую линейную функцию от искоемых переменных. Если она будет иметь смысл, то это только улучшит задачу. Другой подход заключается во введении некоторых неотрицательных фиктивных переменных и целевой функции на их основе, которая позволила бы минимизировать сумму из значений. Процедуры такого типа обычно встроены в стандартные программные

пакеты и реализуются на начальных этапах поиска решения.

К достоинствам предложенной модели следует отнести то, что в решениях обеспечивается возможный баланс не только на выходе подстанции, но и на каждом из участков. Это снижает нагрузку на нулевую линию и уменьшает блуждающие токи.

Литература

1. Воротницкий В.Э. Потери электроэнергии в электрических сетях: анализ и опыт снижения. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2006. – 104 с.
2. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: рук-во для практических расчетов. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 280 с.
3. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. – Кн. 2. – М.: Мир, 1986. – 320 с.

Яр-Мухамедов Ильдар Гизаевич

Доцент, с.н.с. лаб. адаптивных и интеллектуальных систем
Института машиноведения и автоматике
Национальной академии наук Кыргызской Республики
Чуй пр-т, 265а, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 720071
Тел.: +9-9-631-224-27-44
Эл. почта: aldar@email.su

УДК 004.522; 004.588; 004.853

А.Е. Кодоров, А.А. Климов, П.Е. Пугачев, И.Ю. Проказина, Е.С. Шандаров

Виртуальный робот: расширение каналов взаимодействия электронных образовательных ресурсов с пользователем

Рассмотрена задача расширения каналов взаимодействия электронно-образовательных ресурсов (ЭОР) путем голосового управления приложений для виртуального робота. Разработаны архитектура ПО голосового управления, интерфейс и анимация виртуального робота. Проведены испытания в лабораторных условиях на базе ТУСУРа.

Ключевые слова: электронное образование, виртуальный робот, голосовое управление, интерактивность, расширение каналов взаимодействия.

Использование электронно-образовательных ресурсов (ЭОР) в процессе обучения школьников необходимо и предусмотрено требованиями Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС). Традиционный ЭОР обеспечивает взаимодействие с пользователем через такие каналы взаимодействия, как клавиатура, компьютерная мышь и монитор. Тем не менее современные компьютеры и операционные системы (ОС) позволяют широко использовать встроенные мультимедийные средства.

Группа сотрудников, магистрантов и студентов лаборатории робототехники и искусственного интеллекта ТУСУРа, исполняя проект № 44682 по программе «Развитие-НТИ», разработало ряд приложений для социального человекоподобного робота Softbank Robotics NAO для использования в обучении дошкольников и учащихся младшей школы. В приложениях для робота взаимодействие робот-ребенок обеспечивается через голосовой ввод/вывод, распознавание изображений, тактильные сенсоры. Проведенные испытания в образовательных учреждениях показали эффективность применения робота для обучения детей [1]. Поскольку стоимость платформы робота является достаточно высокой (1–1,5 млн руб.), было принято решение рассмотреть задачу по переносу приложений для робота в среду виртуального робота, функционирующего в интернет-браузере с доступом к облачному хранилищу контента.

Таким образом, были поставлены следующие задачи:

- Разработать механизм переноса и адаптации приложений для робота в среду интернет-браузера.
- Обеспечить дополнительные к традиционным каналы взаимодействия между пользователем и виртуальным роботом (голосовой ввод/вывод на первом этапе).
- Провести перенос ряда приложений в среду виртуального робота.

Методы исследования

Обучающие приложения для социального робота

В рамках выполнения проекта № 44682 «Разработка программного комплекса поддержки нейросетевых алгоритмов интеллектуальной робототехнической системы обучения и развития ребенка» были со-

зданы образовательные приложения для социального робота NAO [2]. Работа приложений построена в формате мини-игр (рис. 1), образовательный контент загружается из БД в облачном хранилище. Робот активно использует анимацию (движения руками, ногами и головой), голосовой интерфейс и распознавание изображений. Дополнительный канал взаимодействия обеспечивается с помощью связанного веб-приложения, функционирующего на ноутбуке с сенсорным экраном.



Рис. 1. Робот занимается с детьми

Процесс разработки приложений для робота включает в себя следующие этапы:

- Выбор образовательной методики (литература или привлеченный педагог).
- Разработка сценария взаимодействия робот-ребенок.
- Разработка приложения (программирование, создание анимаций робота, диалогов взаимодействия робот-ребенок, интерфейс веб-приложения, ПО веб-приложения).
- Наполнение БД контентом для робоприложения.
- Испытания и отладка в образовательном учреждении.

Таким образом, полный цикл позволяет получить продукт, готовый к внедрению в образовательные учреждения. Важно отметить, что благодаря разработанной архитектуре само приложение (функци-

онируется на компьютере пользователя под управлением веб-сервера приложений) и образовательный контент (расположен в облачной БД) разделены, что позволяет проводить наполнение БД контентом, не изменяя код приложения [3].

Голосовые интерфейсы в Web

Разработка систем голосовых интерфейсов для компьютеров ведется с 60-х годов XX в. Тем не менее мы не можем сказать, что голосовые интерфейсы используются повсеместно и заменили собой ввод данных с клавиатуры и других интерфейсов. Различают как минимум два подхода к реализации систем Text To Speech и Speech To Text: на основе библиотек, позволяющих работать в офлайн-режиме, и на основе интерфейсов к облачным сервисам. Преимущество облачных сервисов заключается в огромной постоянно накапливаемой базе шаблонов (patterns) голосов людей с различными языками, возрастом, полом. Недостаток облачных сервисов – необходимость постоянного надежного соединения с сетью Интернет.

Наиболее популярные API-сервисы поддержки голосовых интерфейсов: Google Cloud Speech API, Yandex SpeechKit, Web Speech API.

Для решения поставленных задач было решено использовать Web Speech API. Web Speech представляет собой API с интерфейсом на JavaScript, что позволяет запускать его в среде современного веб-браузера.

Реализация

Архитектура системы

Для переноса приложений для робота в среду веб-браузера была разработана архитектура, показанная на рис. 2.

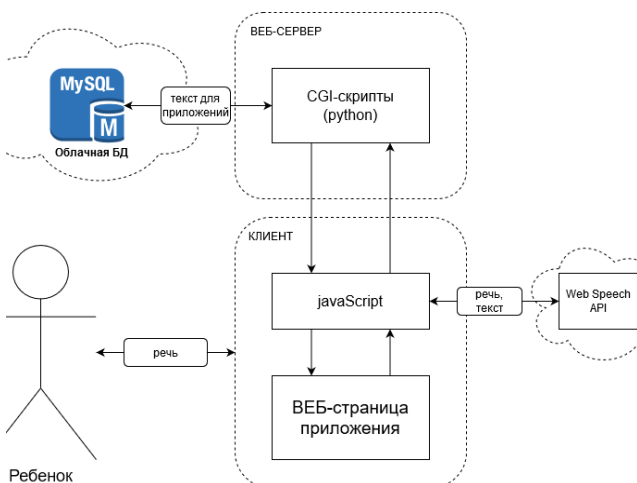


Рис. 2. Архитектура системы

В данной схеме приложения работают следующим образом: серверный скрипт на языке python является ядром приложения, в нем описан сценарий приложения; скрипт делает запрос в облачную базу данных для получения текста загадок, стихов и т.д., который необходимо произнести. В ходе работы приложения клиент (ПК, планшет) с помощью ajax-запроса получает необходимый текст и с помощью Web Speech Api синтезирует его в речь [4]. Также с

помощью API распознаются ответы ребенка и через ajax отправляются ядру приложения (см. рис. 2).

Интерфейс веб-приложения виртуального робота

Для организации взаимодействия с пользователем был разработан унифицированный интерфейс для приложений виртуального робота. Ключевым элементом интерфейса стал анимированный персонаж робота, получивший рабочее название «Робик». «Робик» имеет 7 анимированных движений, показанных на рис. 3: одобрение (а), отрицание (б), непонимание (в), приветствие (г), прощание (д), фокус (е), ожидание (ж). Анимация располагается на странице в формате .gif. Веб-сервер обрабатывает запросы и выводит необходимое изображение.

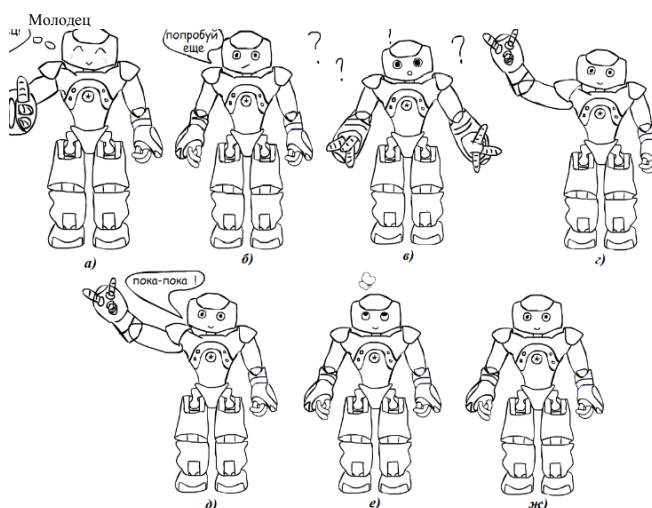


Рис. 3. Анимированные движения виртуального робота

7 анимаций виртуального робота носят универсальный характер и подходят под любой тип сценария. Обычно сценарий имеет следующий вид:

- При открытии веб-страницы виртуальный робот приветствует пользователя, используя анимацию «приветствие», и предлагает ему начать игру. В режиме ожидания выводится анимация «ожидание». Анимация «фокус» выводится в случайный момент времени (1 мин) при условии бездействия пользователя.

- Пользователь начинает игру, после чего персонаж задает вопрос. Веб-сервер формирует текст, картинку и голос персонажа и выводит на веб-страницу. Робот использует анимацию «ожидание».

- После озвученного вопроса считывается голосовая ответ пользователя и формируется ответ персонажа исходя из обработанной информации. Если ответ верный, это подтверждается голосом персонажа и анимацией «одобрение», при неправильном ответе выполняется анимация «отрицание», если сервер не может обработать ответ пользователя, используется «непонимание».

- Когда сценарий завершен персонаж прощается с пользователем, используя анимацию «прощание».

В случае нестандартного сценария допускается возможность добавления новых типов анимации.

Приложения для виртуального робота

На начальном этапе было принято перенести в среду виртуального робота приложения, использующие в качестве дополнительного канала взаимодействия голосовой интерфейс:

- «Разучивание стихов» – вместе с ребенком виртуальный робот учит стихотворения, тексты берутся из БД в облачном хранилище, робот проговаривает стих и демонстрирует его текст на экране, затем ребенок зачитывает стих голосом, робот контролирует правильность.

- «Загадки» – виртуальный робот загадывает загадки, ребенок отгадывает, тексты и изображения берутся из БД в облаке.

- «Изучение английского» – помощь детям при изучении английских слов, виртуальный робот рассказывает стишок на русском, который надо закончить подходящим словом на английском языке, ждет ответа ребенка, ребенок произносит ответ голосом.

Пример базового интерфейса приложений представлен на рис. 4. Боковая панель имеет 3 исполнительные команды:

- Начать – запускает игровой сценарий.
- Стой – останавливает игровой сценарий.
- Домой – возвращает пользователя в меню выбора сценариев.

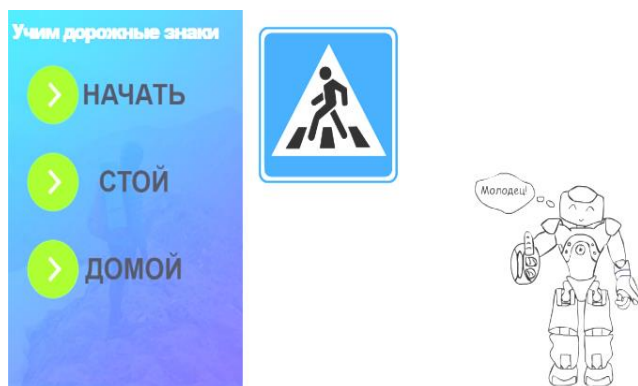


Рис. 4. Интерфейс веб-приложения

Frontend веб-приложений (рис. 4) представляет собой HTML-страницу с кодом на JavaScript. Анимация робота производится путем смены картинок, текущая картинка запрашивается с сервера по технологии асинхронных запросов ajax. Текущее состояние виртуального робота определяется переменной `currentState`, которая может принимать следующие значения: приветствие; показ вопроса; проверка ответа и т.д. [5].

После получения необходимой информации приложение с помощью скрипта «scene», приведенного ниже, отображает текущую сцену приложения (произносит текст если он есть, и показывает картинку), а затем снова посылает запрос серверу для получения новых данных.

```
function scene(speechText, currentState,
srcImage, id, answerFlag){
    showImage(srcImage, 1);
    console.log("speech :"+speechText)
```

```
    if(currentState != -1){
        if(speechText != null && answerFlag == 1){
            speak(speechText);
        }
        else if (speechText != null && answerFlag == 0){
            speak(speechText, usedVoiceRu, false);
        } else {
            var recieveData = '&rec=none&state='+current-
State+'&id='+id+'&answerFlag='+an-
swerFlag;
            toServer(recieveData)
        }
    } else if (currentState == -1 &&
speechText!= null) {
        speak(speechText, usedVoiceRu,
false);
    }
}
```

Backend веб-приложений для виртуального робота написан на языке python и функционирует в операционной среде сервера. Здесь обеспечивается доступ к серверу БД, формирование страниц пользовательской части приложения, генерируются анимации робота.

Испытания и результаты

Испытания разработанного ПО приложений для виртуального робота проводились в лабораторных условиях на базе ТУСУРа. Сервер базы данных, сервер веб-приложений и ПК клиента находились в одной локальной сети.

На испытания выносились следующие задачи:

- тестирование использования веб-приложениями контента облачной БД;
- тестирование интерфейса пользователя с точки зрения интуитивности, ясности и достаточности анимаций виртуального робота «Робик»;
- тестирование работы голосового интерфейса веб-приложений.

В результате проведенных испытаний установлено, что все разработанные веб-приложения успешно получают весь контент из БД, таким образом, обеспечивается совместимость по образовательному контенту с приложениями для социального образовательного робота проекта № 44682 «Развитие-НТИ». Это открывает возможности по дистрибуции разработанного ПО для виртуального робота даже в те образовательные учреждения, где нет реального робота NAO.

В результате проведенных испытаний установлено, что интерфейс веб-приложения обеспечивает взаимодействие пользователя через клавиатуру, мышь, сенсорный экран и голосовой ввод. Установлено, что образ робота и его анимации не являются достаточно привлекательными с точки зрения целевой аудитории (дошкольники и учащиеся начальной школы). Требуется создание нового персонажа и его анимаций. Испытания показали, что сделанный выбор 7 анимированных движений является верным. Таким образом, возможно создание разных персонажей, поддерживающих заданный набор анимирован-

ных движений, что открывает дополнительные возможности по кастомизации продукта без существенной модификации программного кода.

В ходе испытаний было установлено, что обеспечиваются следующие параметры работы голосового интерфейса:

- задержка при распознавании голоса – не более 1 с;
- задержка при синтезе голоса – не более 1 с.

Таким образом, показано, что использование голосового интерфейса для управления приложениями для виртуального робота возможно и эффективно.

Заключение

В процессе выполнения данной работы была создана архитектура системы, реализующей возможности виртуального образовательного робота. Был разработан пользовательский интерфейс приложений виртуального робота, включающий в себя расширенные каналы взаимодействия с пользователем (голосовой интерфейс, анимированный робот «Робик»). Были перенесены ранее разработанные образовательные приложения в среду виртуального робота. Проведены испытания, которые показали применимость виртуального робота при реализации образовательных приложений.

В дальнейшем целесообразно дополнить виртуального робота интерфейсом распознавания изображений, получаемых с веб-камеры ПК.

Литература

1. Система интеграции социального робота и интерактивного web-приложения / Е.С. Польшцев, А.А. Климов, А.Е. Кодоров, И.Ю. Проказина // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУРа: матер. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019». – 2019. – Ч. 4. – С. 299–301.

2. Разработка сценариев «Робот–ребенок» для социального робота / И.Ю. Проказина, О.В. Тертишная,

А.А. Павлова, И.Д. Шабалин, Е.С. Польшцев // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУРа: матер. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019». – 2019. – Ч. 4. – С. 301–304.

3. Климов А.А., Пугачев П.Е., Сомогонянц А.А. Детская энциклопедия для интеллектуальной робототехнической системы поддержки обучения // Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019». – Томск, 2019.

4. Web Speech API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Speech_API (дата обращения: 20.09.2020).

5. Система управления приложениями для социального робота / А.А. Климов, Е.С. Польшцев, И.Д. Шабалин, Е.С. Шандаров // Матер. докл. XV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – 2019. – Ч. 2. – С. 108–110.

Кодоров Антон Евгеньевич

Студент кафедры ЭП ТУСУРа

Эл. почта: Kadr147@yandex.ru

Климов Артем Алексеевич

Магистр кафедры ЭП ТУСУРа

Эл. почта: ygt.art@gmail.com

Пугачев Павел Евгеньевич

Магистр каф. ЭП ТУСУРа

Эл. почта: goxy2@gmail.ru

Проказина Ирина Юрьевна

Студентка каф. ФЭ ТУСУРа

Эл. почта: irina_tusur@mail.ru

Шандаров Евгений Станиславович

Зав. лаб. робототехники и искусственного интеллекта, ст. преп. каф. ЭП ТУСУРа

Эл. почта: evgenyshandarov@gmail.com

УДК 681.53

А.А. Осколков, Д.Н. Трушников, И.И. Безукладников

Управление температурой полимерного материала в процессе трёхмерной печати

Рассмотрен вопрос применения индукционного метода нагрева сопла в процессе трёхмерной печати по технологии послойного наплавления (FDM). Одной из основных проблем данной технологии является нестабильность качества межслоевого спекания. Предлагается подход к решению данной проблемы, основанный на быстром и точном регулировании температуры полимерного материала в процессе печати.

Ключевые слова: FDM, трёхмерная печать, индукционный нагрев, скоростное регулирование температуры, математическое моделирование.

Наиболее распространённой технологией 3D-печати [1] является технология моделирования методом послойного наплавления (fused deposition modeling, FDM), созданная в 1986 г. в США [2, 3].

В большинстве существующих моделей FDM-принтеров используется косвенный резистивный нагрев сопла [4, 5]. При этом для такой системы нагрева характерна большая тепловая масса нагреваемой части. Высокая тепловая инерционность нагреваемой части не позволяет осуществлять регулировку температуры в процессе печати, что приводит к непостоянному качеству межслоевого спекания и не позволяет обеспечивать однородность внутреннего объёма изделия.

В данном исследовании предлагается использовать метод индукционного нагрева сопла [6, 7].

Индукционный нагрев является методом прямого, бесконтактного электронагрева и позволяет изолировать нагревательный элемент (индуктор) от сопла минимальной тепловой массы (около 1 г). Что более значимо – за счёт маленькой тепловой массы сопла обеспечивается его быстрое охлаждение.

Таким образом, необходимо определить частоту тока индуктора, удовлетворяющую требованиям высокоскоростного нагрева сопла. Необходимо определить форму индуктора, обеспечивающую равномерность нагрева сопла и экструдированного материала. Требуется также изучить поведение предлагаемой системы с регулируемой мощностью в процессе экструзии полимерного материала при использовании методов локального измерения температуры.

Создание связанной модели индукционного нагрева экструдированного материала в специальном сопле

Для решения задач моделирования была построена связанная осесимметричная математическая модель в пакете Comsol Multiphysics 5.2a, содержащая тепловую и электромагнитную задачи [8, 9].

Система индукционного нагрева сопла FDM 3D-принтера содержит высокочастотный источник питания мощностью до 300 Вт, частотой от 10 до 180 кГц, бескаркасный индуктор (рис. 1, а), концентратор магнитного потока из супермаллоя 79НМ (рис. 1, б), алюминиевую цилиндрическую оправку (рис. 1, в), а также сопла (рис. 1, г) для трёхмерной

печати заданной конфигурации из ферромагнитного сплава 40Х13 с внутренним каналом диаметром 2 мм и формирующим отверстием 0,4 мм, помещенного внутрь индуктора [10].

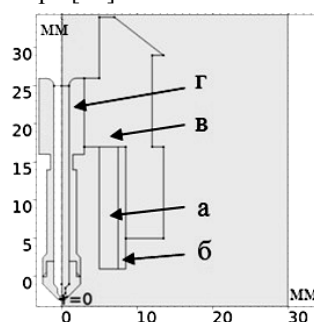


Рис. 1. Система индукционного нагрева сопла FDM 3D-принтера

Численная реализация

Соответствующая параметрическая задача с изменяемым параметром – частотой нагрева была численно решена в среде моделирования Comsol Multiphysics для всего рабочего диапазона частот источника (10...180 кГц) с шагом параметра в 10 кГц. Задача была решена для скорости истечения расплава $v = 100$ мм/с, $t = 4$ с.

Как видно из рис. 2, частоты в 10–30 кГц являются неэффективными для нагрева сопла текущей конфигурации по причине чрезмерно малого его диаметра (эффективность нагрева составляет менее 50%). Рост эффективности нагрева наблюдается по мере увеличения рабочей частоты.

В результате проведённых исследований была выбрана рабочая частота индуктора в 120 кГц. Данная частота обеспечивает высокую эффективность и скорость нагрева.

К четвёртой секунде работы индуктора была достигнута температура в 400 °С. В то же время увеличилась до 130 °С разность температур между центральной частью нагреваемой зоны сопла и периферией (270 °С для точки с $z = 17$, 400 °С для точки с $z = 11$).

Для устранения столь значительной неравномерности распределения температурного поля рабочей зоны сопла было принято решение оптимизировать форму намоточной втулки и толщину индуктора

на некоторых участках (индуктор после такого изменения будет иметь форму усечённой сферы, а не полого цилиндра). Оптимизированная форма индуктора представлена на рис. 3.

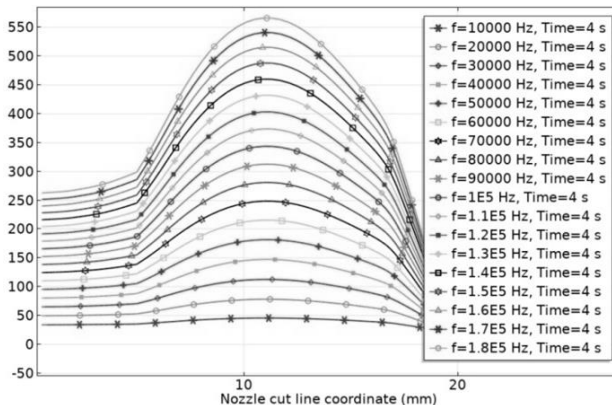


Рис. 2. Температурное поле сопла ($z = -3...17$) для $f = 20\text{--}180$ кГц, $t = 4$ с, $v = 100$ мм/с в сечении $r = 1,05$ мм

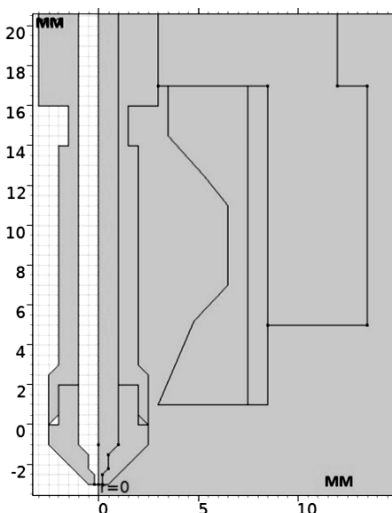


Рис. 3. Оптимизированная форма индуктора

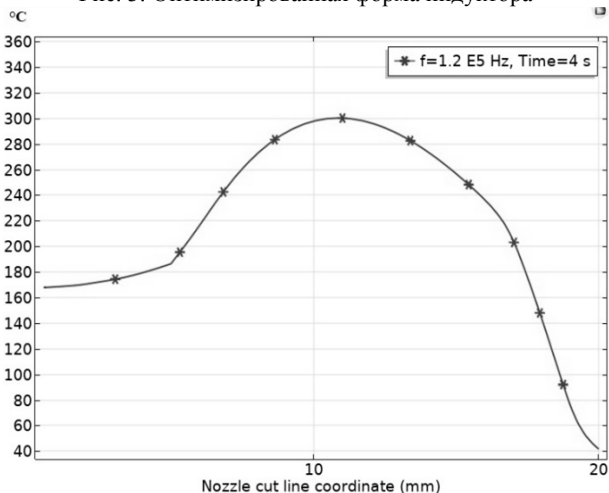


Рис. 4. Температурное поле нагреваемого сопла для $f = 120$ кГц с оптимизированной формой индуктора

Исходя из представленных на рис. 4 данных, можно сделать вывод о том, что проведенная оптимизация позволила добиться значительной равномерности нагрева на ключевом участке рабочей зоны сопла.

На участке сопла $z = 5...11$ мм разброс температур составил не более 10°C , что является достаточно хорошим результатом. К четвертой секунде работы индуктора на частоте $f = 120$ кГц достигается температура в 308°C , что является отличным результатом и удовлетворяет требованиям высокоскоростного нагрева.

Моделирование процесса экструзии полимерного материала при регулировании мощности индуктора с использованием методов локального измерения температуры сопла

В ходе моделирования осуществляется исследование поведения системы при различной высоте расположения датчика ($z = 4, 9, 13$ мм) на поверхности сопла и при различных скоростях экструзии полимерного материала ($v = 40$ мм/с, $v = 100$ мм/с).

Для регулирования мощности индуктора в математическую модель был добавлен ПИД-регулятор. В качестве входного сигнала выступает ток индуктора (10). Величина установившегося значения температуры задана как $T_{\text{set}} = 600$ К = 327°C .

С точки зрения модели датчик, таким образом, располагается внизу рабочей зоны сопла, в середине рабочей зоны сопла и в верхней части рабочей зоны сопла, что представлено на рис. 5.

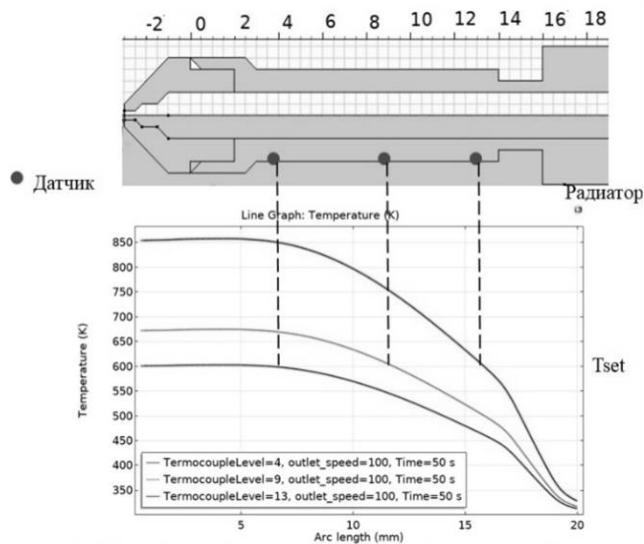


Рис. 5. Температурное поле сопла ($z = -3...17$) для вертикального сечения с координатой $r = 1,05$ мм при Thermocouple Level = 4, 9, 13 мм

На основании данных, полученных в результате моделирования, можно сделать следующий вывод. Чем ближе датчик контроля температуры находится к радиатору, тем значительнее отклонение температуры сопла ниже датчика, а также полимерного материала в теле сопла и расплава на выходе из сопла (рис. 6а, 6б) от температуры уставки T_{set} . Это обуславливается охлаждающим действием радиатора и поступающего в сопло холодного полимерного материала.

Согласно данным, представленным на рис. 6, при увеличении скорости экструзии полимерного материала с 40 до 100 мм/с наблюдается уменьшение температуры полимерного материала в теле сопла и на выходе из сопла.

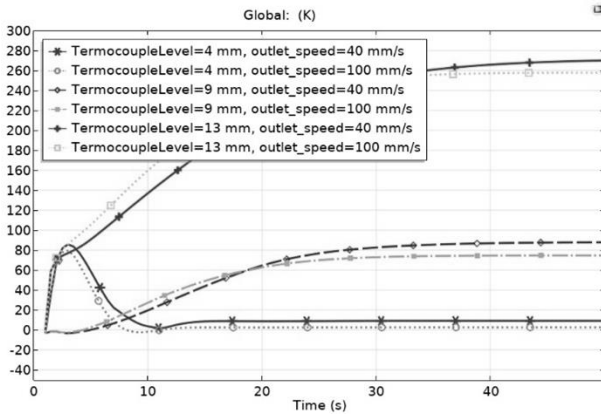


Рис. 6а. Величины отклонений от заданного значения температуры

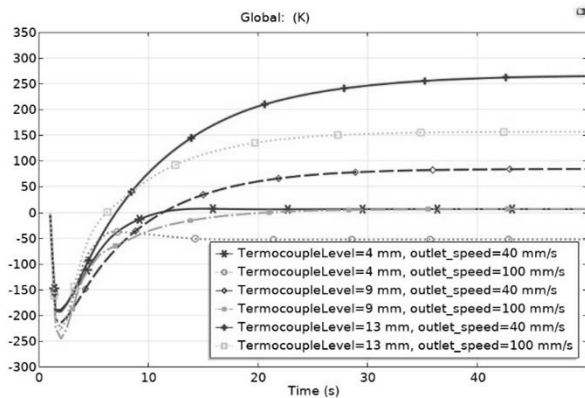


Рис. 6б. Величины отклонений от заданного значения: а – максимальной температуры полимерного материала в теле сопла; б – минимальной температуры расплава на выходе из сопла

Например, при расположении датчика в положении (4), при увеличении скорости экструзии с 40 до 100 мм/с расплав на выходе сопла уже не успевает прогреться до температуры уставки T_{set} . Минимальная температура расплава на выходе из сопла получается ниже необходимой на 55° . Для обеспечения нужной температуры в данном случае потребуются увеличить T_{set} , что приведёт к перегреву полимерного материала в теле сопла. В то же время при скорости экструзии 100 мм/с и расположении датчика в положении (9) температура расплава на выходе из сопла соответствует T_{set} , однако, в теле сопла возникает перегрев полимерного материала.

Таким образом, методы локального контроля и измерения температуры сопла не позволяют добиться такой конфигурации системы индукционного нагрева, регулирование которой не будет приводить к значительным отклонениям температуры экструдруемого материала при изменении технологических параметров процесса печати.

В качестве альтернативного метода контроля и измерения температуры предлагается вихревой метод контроля температурнозависимых параметров нагреваемой среды.

Принципы работы скоростного контроллера температуры будут описаны в другой статье.

Экспериментальное подтверждение результатов исследования

Для подтверждения результатов проведенного исследования авторами был создан испытательный стенд, состоящий из лабораторного источника питания с $U = 24$ В, $I_{max} = 30$ А, силового контроллера на базе DRV8302 и платы управления STM32F334R8. Рабочая частота $f = 120$ кГц. Модифицированный индуктор был намотан 20 витками медного литцендрата с $d = 0,75$ мм в 2 слоя. Геометрия индукционного экструдера соответствует приведенной на рис. 3.

С 20 до 300°C время нагрева составляет 2–3 с против 40–90 с в стандартных системах трёхмерной печати. В результате проведённых испытаний на экспериментальной установке было выявлено, что обеспечивается точность $\pm 3^\circ\text{C}$.

На рис. 7 представлен график нагревания и охлаждения индукционного сопла. С 250 до 230°C время охлаждения составляет 3 с против 22 в стандартных системах трёхмерной печати. Данные, приведённые на графике, показывают, что при работе индуктора в его основном режиме обеспечивается высокая скорость как нагрева, так и охлаждения сопла.

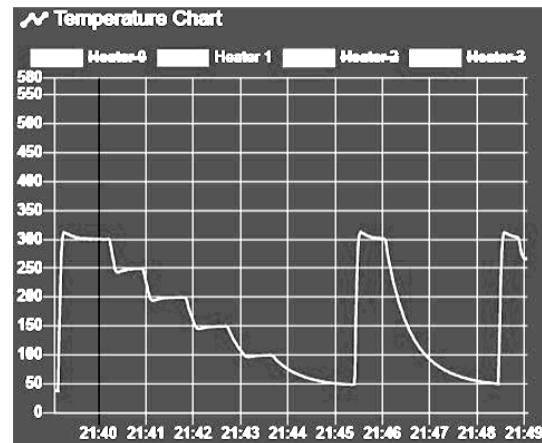


Рис. 7. График нагревания и охлаждения сопла

Заключение

1. Выявлены преимущества индукционного нагрева перед косвенным резистивным методом нагрева.

2. Была построена связанная математическая модель индукционного нагрева сопла в пакете Comsol Multiphysics. В результате моделирования были определены рабочая частота и форма индуктора, исследованы свойства системы с регулируемой мощностью.

3. Была показана неэффективность применения стандартных методов локального контроля и измерения температуры в подобной системе.

4. Обеспечена возможность скоростного регулирования температуры в процессе трёхмерной печати по технологии FDM.

Литература

1. Attoye S.O. A study of fused deposition modeling (FDM) 3D-printing using mechanical testing and thermography. MS Thesis, Purdue University, Indianapolis, IN. – 2018.

2. Reddy K., Dufera S. Additive manufacturing technologies // International Journal of Management, Information Technology and Engineering (BEST: IJMITE). – 2016. – Vol. 4, Is. 7. – P. 89–112.

3. Chennakesava P., Narayan Y.S. Fused deposition modeling-insights // International Conference on Advances in Design and Manufacturing (ICAD&M'14). – 2014. – P. 1345–1350.

4. Grimm T. et al. Fused deposition modelling: a technology evaluation // Time-compression technologies. – 2003. – Vol. 11, № 2. – P. 1–6.

5. W. S. Tan. Application of induction heating to 3D print low melting point metal alloy: Final Project Summary Report 2015, UNSW@ADFA. – 2015. – P. 1–13.

6. Hemang J., Manish A. Induction Heating Based 3D-Metal Printing of Eutectic Alloy Using Vibrating Nozzle // Advances in Additive Manufacturing, Modeling Systems and 3D-Prototyping. – 2020. – P. 71–80.

7. Totten G.E., Funatani K., Xie L. Handbook of Metallurgical Process Design: Laser Surface Hardening. – CRC Press, Florida, 2006.

8. Comsol A.B. AC/DC Module-User's Guide // COMSOL. – 2011. – Vol. 3. – P. 151.

9. Hameyer K., Driesen J., De Gersem H., Belmans R. The classification of coupled field problems // IEEE Trans. on Magnetic. – 1999. – Vol. 35, No. 3. – P. 1618–1621.

10. Kumbhar G.B., Kulkarni S.V., Escarela-Perez R., Campero-Littlewood E. Applications of coupled field formulations to electrical machinery // The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering (COMPEL). – 2007. – Vol. 26, No. 2. – P. 489–523.

Осколков Александр Андреевич

Аспирант каф. сварочного производства,
метрологии и технологии материалов ПНИПУ
Комсомольский пр-т, 29, г. Пермь, Россия, 614990
Эл. почта: oskolkov.w@yandex.ru)

Трушников Дмитрий Николаевич

Д-р техн. наук, профессор каф. сварочного производства,
метрологии и технологии материалов ПНИПУ
Комсомольский пр-т, 29, г. Пермь, Россия, 614990
Эл. почта: trdimitr@yadex.ru

Безукладников Игорь Игоревич

Канд. техн. наук, доцент каф. автоматике
и телемеханики ПНИПУ
Комсомольский пр-т, 29, г. Пермь, Россия, 614990
Эл. почта: corrector@at.pstu.ru

Секция 14

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Председатель секции – *Шелупанов Александр Александрович, д.т.н., профессор, президент ТУСУРа, зав. каф. КИБЭВС*

УДК 004.891.3

Н.Е. Карпова, А.С. Баранов, А.А. Емелина, А.Е. Коновалов

Разработка системы мониторинга аномальных действий пользователя в информационной среде

Разработана система мониторинга аномальных действий пользователя информационной системы. Метод поведенческого анализа основан на понятии нечетких множеств и разработан для определения возможных угроз информационным системам корпоративных структур.

Ключевые слова: защита информационных систем, поведенческий анализ, нечеткие множества, угрозы несанкционированного доступа.

В настоящее время существует большое число механизмов защиты компьютерных систем. Поскольку человек не в состоянии обрабатывать большой поток данных пользователей вручную, то для решения данной проблемы применяют системы анализа аномального поведения пользователей. В работе [2] был предложен метод скрытой непрерывной идентификации пользователей компьютерных систем с использованием стандартного периферийного оборудования и модифицированной формулы гипотез Байеса. Данный метод оценен автором как положительный, однако в данной системе принятие идентификационного решения происходит в течение 10 мин и не всегда возможно на практике. В работе [1] рассматривается иррациональность поведения человека при принятии решения, а в исследовании [4] описываются методы, модели и алгоритмы распознавания клавиатурного почерка в ключевых системах. Один из методов анализа основывается на теории нечетких множеств.

Теория нечетких множеств появилась в результате обобщения и переосмысления достижений: многозначной логики, которая позволила перейти к произвольному множеству значений истинности теории вероятности и математической статистики, где аккумулируются все возможные способы обработки экспериментальных данных и указываются способы формализации неопределенностей [3]. В нечетких методах простые отношения описываются с помощью нечетких высказываний, а более сложные – нечеткими алгоритмами. Существующие правила позволяют быстро обрабатывать сложные соединения, которые являются важным преимуществом размытой логики. Поэтому важными преимуществами моделей реальных систем, построенных

на основе нечеткой математики, есть большая гибкость и адекватность, а также более быстрое получение окончательного результата.

В нашем исследовании будет использован метод нечетких множеств, который будет строиться на предположении, что действия злоумышленников будут отличаться от поведения обычных пользователей. В результате предполагается разработка системы мониторинга аномальных действий пользователя в информационной среде. Работа системы требует накопления информации (файлы аудита, поток данных в компьютерных сетях и т.д.), на основании которой создается эталон (шаблон) нормального поведения пользователя. В дальнейшем происходит сравнение поведения пользователя с эталоном, и при выявлении аномалий система сигнализирует об отклонениях. Данный алгоритм позволяет отследить огромное количество параметров пользователя для определения его подлинности, а также возможности несанкционированного доступа (далее – НСД).

1. Скорость движения мыши.
2. Скорость печатания.
3. Степень принадлежности использования того или иного каталога.
4. Время входа в систему.
5. Время работы в системе.
6. Часто используемые программы/процессы.
7. Создание файлов необычного формата.
8. Нестандартная работа с файлами.

Исследованы и проанализированы три параметра: доступ к папкам и файлам; продолжительность сеанса, время входа и выхода из сети.

Рассмотрим первый параметр, основанный на рассмотрении доступа к папкам и файлам. Авторами статьи были проанализированы данные (журналы

событий) за 1 месяц 50 учебных компьютеров, расположенных в аудиториях Института автоматизации и информационных технологий ФГБОУ ВО СамГТУ. Основными пользователями компьютеров являлись студенты учебного заведения. Проведя анализ материалов из журналов событий (7 500 файлов), авторы статьи выявили основные пути перехода между папками и находящимися в них файлами, было выявлено 13 основных путей. Под путем мы понимаем, как папку, к которой обращается пользователь, так и находящиеся в ней файлы. Степень принадлежности $\mu_A(x)$ нормального/аномального поведения вычислялась по следующей формуле (1):

$$\mu_A(x) = \frac{N_1}{M_1}, \quad (1)$$

где M_1 – общее количество файлов и папок, а N_1 – частота посещения конкретных файлов и папок. Данные сведения представлены в табл. 1. Для упрощения зададим каждый путь через переменную x_i .

Таблица 1

Перечень основных путей

x_i	$\mu_A(x)$	Путь
x_1	0,2	C:\Windows\Logs
x_2	0,2	C:\Windows\System32
x_3	0,3	C:\Windows\
x_4	0,3	C:\Program Files
x_5	0,6	C:\Users\1\Documents\Загрузки\
x_6	0,6	C:\Documents and Settings\student\Рабочий стол
x_7	0,6	C:\Documents and Settings\student\Мои документы
x_8	0,7	C:\Users\1\Documents\
x_9	0,7	C:\Documents and Settings\student\
x_{10}	0,8	C:\Users\1\
x_{11}	0,9	C:\Users\
x_{12}	0,9	C:\Documents and Settings\
x_{13}	1	C:\

Проанализировав таблицу, можно сделать вывод о том, что аномальным поведением пользователя является посещение системных папок, а также папок, не соответствующих учебным задачам, что соответствует условию $\mu_A(x) \leq 0,4$.

Построим функцию (2) и график нечеткого множества, который изображен на рис. 1.

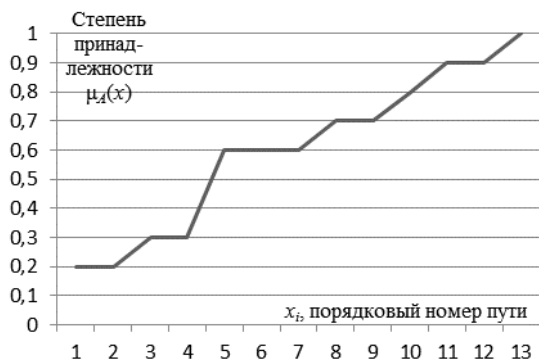


Рис. 1. Графическое представление нечеткого множества функции доступа пользователя к папкам и файлам

$$\mu_A(x) = \begin{cases} x_1, 0,2; \\ x_2, 0,2; \\ x_3, 0,3; \\ x_4, 0,3; \\ x_5, 0,6; \\ x_6, 0,6; \\ x_7, 0,6; \\ x_8, 0,7; \\ x_9, 0,7; \\ x_{10}, 0,8; \\ x_{11}, 0,9; \\ x_{12}, 0,9; \\ x_{13}, 1. \end{cases} \quad (2)$$

Следующим признаком является время входа и выхода из системы. Данные промежутки были выбраны исходя из длительности пар и рабочего времени. Временные промежутки анализируются в будние дни.

Самая большая степень принадлежности $\mu_B(x)$ входа в систему и выхода из нее – это первая половина дня и одна пара после обеденного времени, так как основное количество пар стоит в это время. С 13.15 до 13.30 – обеденное время. С 15.20–18.40 также бывают занятия, проходящие в компьютерных классах, однако таких пар меньше. В 18.40 заканчивается последнее занятие, соответственно после этого времени не должно наблюдаться действий по входу и выходу из системы. В данном параметре системе необходимо сверяться с календарем и определять, будний ли это день или выходной. Степень принадлежности $\mu_B(x)$ нормального/аномального поведения вычислялась по следующей формуле (3):

$$\mu_B(x) = \frac{N_2}{M_2}, \quad (3)$$

где M_2 – общее количество входов и выходов, а N_2 – количество входов и выходов в определенные промежутки.

Данные сведения представлены в табл. 2. Для упрощения зададим каждый временной интервал через переменную x_i .

Таблица 2

Время входа и выхода из системы		
x	$\mu_B(x)$	Время, ч
x_1	0,8	7.55–13.15
x_2	0,4	13.15–13.30
x_3	0,8	13.30–15.20
x_4	0,6	15.20–18.40
x_5	0,2	18.40–7.55

Построим функцию (4) и график нечеткого множества, который изображен на рис. 2.

$$\mu_B(x) = \begin{cases} x_1, 0,8; \\ x_2, 0,4; \\ x_3, 0,8; \\ x_4, 0,6; \\ x_5, 0,2. \end{cases} \quad (4)$$

Поведение, определяемое степенью принадлежности $\mu_B(x)$ ниже 0,4, можно считать аномальным. Здесь мы можем наблюдать 2 варианта аномального поведения: время работы в обеденное время (x_2) и сеанса в нерабочее время университета.

Третьим параметром является продолжительность работы компьютера.

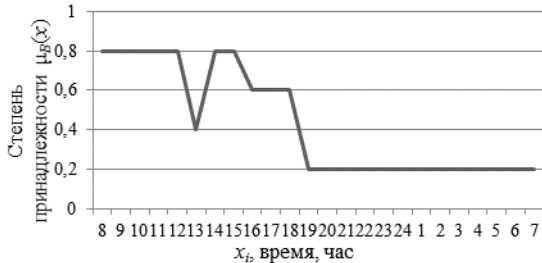


Рис. 2. Графическое представление нечеткого множества функции времени входа и выхода из системы

Данные временные промежутки были выбраны на основе длительности пар. Исходя из этого, самая высокая степень принадлежности $\mu_C(x)$ продолжительности работы компьютера – это 0–1,5 ч (длительность одной пары), а самая низкая степень принадлежности $\mu_C(x)$ – это работа компьютера сверх времени работы кафедры (10,5–24 ч). Данная продолжительность может быть обусловлена, как правило, двумя факторами: 1 – студент забыл выключить компьютер; 2 – возможно, произошла попытка несанкционированного доступа. Степень принадлежности $\mu_C(x)$ нормального/аномального поведения вычислялась по следующей формуле (5):

$$\mu_C(x) = \frac{N_3}{M_3}, \quad (5)$$

где M_3 – количество сеансов, а N_3 – количество сеансов с выбранной продолжительностью.

Данные сведения представлены в табл. 3. Для упрощения зададим каждый временной интервал через переменную x_i .

Таблица 3

Продолжительность работы компьютера		
x_i	$\mu_C(x)$	Продолжительность, ч
x_1	0,9	0–1,5
x_2	0,8	1,5–3
x_3	0,6	3–4,5
x_4	0,4	4,5–6
x_5	0,3	6–7,5
x_6	0,2	7,5–9
x_7	0,15	9–10,5
x_8	0,1	10,5–24

Построим функцию (6) и график нечеткого множества, который изображен на рис. 3.

$$\mu_C(x) = \begin{cases} x_1, 0,9; \\ x_2, 0,8; \\ x_3, 0,5; \\ x_4, 0,4; \\ x_5, 0,3; \\ x_6, 0,2; \\ x_7, 0,15; \\ x_8, 0,1. \end{cases} \quad (6)$$

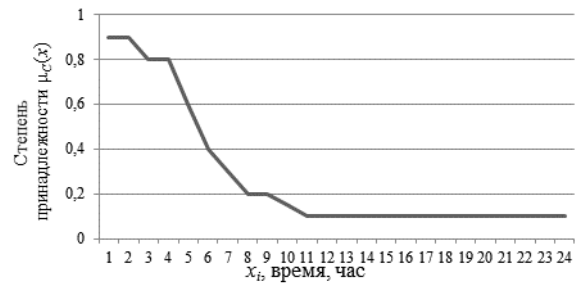


Рис. 3. Графическое представление нечеткого множества функции продолжительности работы компьютера

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод о том, что аномальная продолжительность работы за компьютером – это работа свыше 4,5 ч, что соответствует условию $\mu_C(x) \leq 0,4$.

На основе разработанной системы и проведенных исследований нами был составлен алгоритм, который был реализован на языке C# (рис. 4).

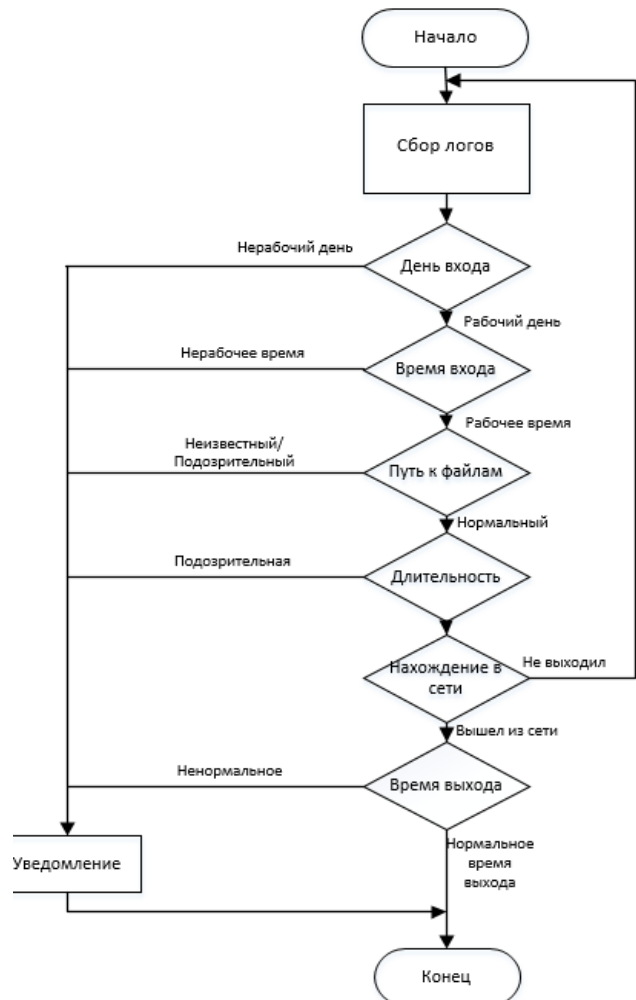


Рис. 4. Алгоритм распознавания аномального поведения

Алгоритм подразумевает, что система собирает информацию с логов о дне входа, времени входа, пути к файлам, длительности сессии, нахождения в сети и времени выхода, при наличии отклонений от эталона система посылает уведомление о подозрительных действиях пользователя. Алгоритм должен

выполняться до тех пор, пока пользователь находится в сети.

В данной статье с использованием аппарата нечеткой логики был разработан и реализован алгоритм системы мониторинга действий пользователя в компьютерной системе. Данная система была протестирована в учебных аудиториях кафедры ЭСИБ ФГБОУ ВО СамГТУ. Система показала себя как стабильно функционирующая, устойчивая, в 80% случаев определяющая аномальное поведение пользователя. На основе проведенных исследований в будущем планируются разработка и обучение нейронной сети по выявлению аномального поведения пользователей в информационных системах.

Литература

1. Аверкин А.Н. Нечеткие поведенческие модели принятия решений с учетом иррациональности поведения человека // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2014. – Т. 186. – С. 153–158.

2. Еременко А.В. Разграничение доступа к информации на основе скрытого мониторинга действий пользователей в информационных системах: скрытая идентификация / А.В. Еременко, Е.А. Левитская и др. // Вестник Сиб. гос. автомобильно-дорожной акад. – Омск, 2014. – № 6 (40). – С. 92–102.

3. Корченко А.Г. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. – К.: МК-Пресс, 2006. – 320 с.

4. Савинов А.Н. Методы, модели и алгоритмы распознавания клавиатурного почерка в ключевых системах: дис. ... канд. техн. наук. – Йошкар-Ола, 2013. – 97 с.

Карпова Надежда Евгеньевна

Канд. техн. наук, доцент, каф. ЭСИБ ФГБОУ ВО СамГТУ
Тел.: 8-846-337-15-19
ORCID: 0000-0001-9837-7903
Эл. почта: esib@samgtu.ru

Баранов Александр Сергеевич

Студент каф. ЭСИБ ФГБОУ ВО СамГТУ
Тел.: 8-846-337-15-19
ORCID: 0000-0003-0684-7731
Эл. Почта: as_baranov@bk.ru

Емелина Алина Анатольевна

Студентка каф. ЭСИБ ФГБОУ ВО СамГТУ
Тел.: 8-846-337-15-19
ORCID: 0000-0002-8286-6830
Эл. почта: alina.lina0723@gmail.com

Коновалов Александр Евгеньевич

Студент каф. ЭСИБ ФГБОУ ВО СамГТУ
Тел.: 8-846-337-15-19
ORCID: 0000-0002-2269-9217
Эл. почта: kon.lov.ae@gmail.com

УДК 004.65

Д.Ш. Даутов

Мобильное приложение для обмена и контроля целостности данных в системе распределённого реестра

Проведены исследования текущего состояния технологии распределённого реестра, изучены наиболее передовые решения в этой области, как результат сделан вывод о том, что наиболее перспективным алгоритмом распределённого реестра является его интерпретация на основе направленного ациклического графа. На основе изученных технологий был разработан собственный алгоритм, применённый при создании мобильного приложения.

Ключевые слова: распределённый реестр, блокчейн, направленный ациклический граф, криптография, электронная подпись, хэш-функция, эллиптические кривые, мобильное приложение.

В настоящее время общество переживает четвертую промышленную революцию (The Fourth Industrial Revolution), которая сопровождается активным внедрением информационных технологий во все сферы жизни человечества, переживает своё становление и информационное общество [1]. Цифровое общество основывается на цифровых компьютерных технологиях в совокупности с так называемой цифровой экономикой, что отражается на всех отраслях производства и промышленности [2].

Основные технологии, присущие четвертой промышленной революции:

- большие данные (Big Data);
- Интернет вещей (IoT – Internet of Things);
- виртуальная и дополненная реальности (VR and AR – Virtual and Augmented Reality);
- квантовые вычисления;
- распределённые реестры.

Распределённый реестр на текущий момент принято называть «блокчейн» (Blockchain). Однако хотелось бы заметить, что термин «распределённый реестр» обозначает технологию хранения и передачи данных, а, в свою очередь, термин «блокчейн» имеет значения более конкретного алгоритма реализации вышеупомянутой технологии. Объясняется это тем, что у технологии распределённого реестра может быть несколько реализаций помимо блокчейна.

Возникновение технологии распределённого реестра обусловлено отсутствием доверия к централизованным органам управления, банковским институтам и т.д. Она основана на том, что каждая новая запись в реестр содержит в себе хэш предыдущей. Технология позволит децентрализовать не только экономику общества, но и остальные институты, тем самым повысив прозрачность всей системы, повысив уровень доверия её участников друг к другу и системе в целом [3].

Под Интернетом вещей понимают такую концепцию вычислительной сети различных устройств, которые взаимодействуют друг с другом или внешней средой при помощи цифровых технологий. В эти устройства входят различная умная техника, смартфоны, датчики и т.д. Чаще всего всё взаимодействие происходит в смартфоне или ином конеч-

ном устройстве пользователя, но все данные отправляются посредством облачных технологий, которые в последнее время не внушают доверия. Более того, увеличение количества устройств в подобной сети вызывает больший риск утечки конфиденциальных данных.

Таким образом, существующие проблемы Интернета вещей можно представить следующим списком:

- приватность;
- масштабируемость;
- достоверность данных.

Все они решаются путём внедрения блокчейна в сеть. В отличие от облачных решений, технология блокчейн не имеет централизованной структуры хранения и обработки данных, т.е. потерять данные после атаки на сеть будет гораздо сложнее, да и не будет проблем с доступом к такому центральному сервису. Также за счёт асимметричной криптографии будет практически невозможно изменить или повредить данные. А вопрос приватности решается шифрованием данных.

Постепенно распределённый реестр приходит в смартфоны как наиболее мобильные устройства каждого человека. Поэтому в работе была поставлена цель: создать мобильное приложение, которое работало бы с распределённым реестром, с его наиболее инновационной интерпретацией.

Применение направленного ациклического графа в распределённом реестре

Однако блокчейн в его классической реализации достаточно затратен как в плане энергии, так и времени. Для вычисления каждого нового блока транзакций расходуются огромные вычислительные мощности, что может себе позволить далеко не каждое устройство Интернета вещей. Более того, параллельное создание двух блоков вызовет конфликт в сети, что приведёт к тому, что один из них непременно будет отброшен, соответственно, придётся заново вычислять хэши всех его транзакций либо же его запись в реестр будет отложена, что тоже не подходит для работы Интернета вещей.

Решить эти проблемы поможет альтернативный математический алгоритм – DAG (Directed Acyclic

Graph – направленный ациклический граф) [4]. На рис. 1 представлено сравнение блокчейна и направленного ациклического графа в том виде, в котором он реализован в проекте IOTA [5].

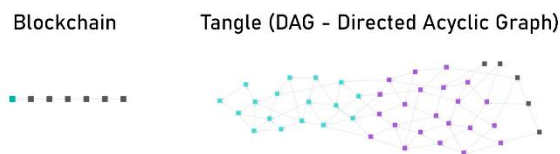


Рис. 1. Сравнение блокчейна и направленного ациклического графа

DAG – это ориентированный граф, в котором используется топология, схожая с деревом. Направление в нём только одно – от ранних блоков к более новым. Однако наличие множества параллельных цепочек не оставляет места конфликтам, обязательно возникающим при генерации нового блока в технологии блокчейн. Майнерам уже не нужно «соревноваться» за право быть первыми, внёсшими свой блок в сеть ради награды. Более того, возрастает скорость записи в сеть. Блок теперь эквивалентен транзакции, соответственно, не нужно ждать, пока блок из нескольких транзакций полностью соберётся, чтобы записать его. И каждая транзакция отвечает за сохранение последовательности, что является гарантом безопасности сети.

Итак, появились параллельные ветви графа, отсутствуют майнинг и конфликты. Безопасность сохраняется за счёт того, что каждая новая транзакция содержит в себе хэш предыдущей, а иногда и двух ранее сделанных транзакций. При записи нового блока узлу необходимо подтвердить один или два предыдущих блока, вычислив их хэш и сравнив с хэшем, подписанным электронной подписью владельца записи. Если они совпадают, то этот блок считается валидным (корректным, действительным) и может быть использован для подсчёта хэша текущего блока. При этом необходимо оставить в новой записи также ссылку на блоки, чьи хэши были подтверждены и использованы для генерации этой новой записи. Тем самым и обеспечивается топология сети.

Необходимость в комиссии, служащей в качестве награды осуществившему расчёты, также отпадает. А это решает ещё одну из проблем классического блокчейна: после определённого количества совершённых транзакций в сети блокчейна становится невыгодно совершать малые платежи, поскольку комиссия за эту транзакцию превысит объём переведённой криптовалюты.

Также возрастает скорость подтверждения только что созданного нового блока. Ведь если в блокчейне, совершив транзакцию, приходилось ждать, пока она будет проверена и опубликована вместе с остальными транзакциями в блок, а с каждым разом время опубликования нового блока только возрастало, то в DAG скорость подтверждения транзакции лишь возрастает от увеличения числа участников и появления новых транзакций.

Алгоритм подтверждения блоков

Алгоритм подтверждения предыдущих блоков идейно схож с реализованным в проекте IOTA: для создания новой записи необходимо подтвердить две предыдущие. Но поскольку IOTA является всё же криптовалютой, то и реализация в ней другая, в частности, учитывается возможность двойного расходования.

В проекте были представлены два варианта алгоритма. Причём, в обоих учитываются «веса» каждого блока, но немного в ином от IOTA понимании – это количество блоков, которые подтвердили этот блок, т.е. ссылаются на него напрямую. Косвенно подтверждающие блоки здесь не учитываются.

У обоих алгоритмов есть общая часть реализации схемы работы распределённого реестра. Данные хранятся на базе данных, локальной для каждого узла. Узлы должны постоянно синхронизировать свои записи друг с другом.

Изначально создаются два генезис-блока, в которых в качестве данных записаны открытые ключи двух различных сертификатов. Хэш каждого генезис-блока заранее подсчитан и записан в блоке. Закрытым ключом каждого сертификата подписаны соответствующие открытые ключи, полученная подпись сохранена в поле, соответствующем полю блока. Подобные меры необходимы для подтверждения того, что запись сделана авторизованным участником, чей открытый ключ хранится в одном из двух генезис-блоков.

Каждая следующая запись будет подписана закрытым ключом автора записи. Если в базе данных уже есть его сертификат, то в поле «Flag» будет указана ссылка на соответствующую запись с сертификатом – идентификатор этой записи. Таким образом, каждый сможет проверить блок: при помощи открытого ключа, который можно найти по ссылке на запись-сертификат, получить хэш данных и сравнить его с указанным хэшем либо посчитать самому.

Если же сертификата открытого ключа автора записи ещё нет в базе данных, то необходимо сначала создать соответствующую запись-сертификат. Основным её отличием от блоков с данными будет поле «Flag», в котором теперь будет записан только 0. Этот флаг говорит о том, что в данной записи хранятся не данные, а сертификат участника сети.

Хэш каждой записи подсчитывается следующим образом: самая главная часть блока, данные, записываются в строковом виде. К ним при помощи конкатенации добавляется информация о дате и времени создания записи, тоже в строчном виде. Это нужно для того, что в случае применения данного проекта в рамках Интернета вещей, например, для записи данных каких-либо датчиков, вполне возможны ситуации с одинаковыми полученными данными, которые необходимо записать в базу данных. Такая ситуация может вызвать появление множества одинаковых записей, что может затруднить их дальнейший анализ. Да и малейшее изменение хэшируемой строки переходит в разительные изменения двух полученных хэшей.

Далее подсчитывается хэш от полученной промежуточной строки, к которой потом добавляются ранее подсчитанные хэши двух блоков, выбранные для подтверждения их валидности. Из этой строки подсчитывается хэш, который записывается в соответствующее поле блока. Это нужно для того, чтобы при создании каждой новой записи не приходилось проходить по огромной части базы данных для того, чтобы высчитать хэш от конкатенации данных с двумя хэшами предыдущих блоков. Подобная реализация влечёт за собой рекурсивный перебор, который выливается в долгое время создания нового блока. При этом с увеличением количества записей в таблице каждая новая запись занимала бы всё большее время на обработку, что явно не свидетельствует о хорошем уровне «масштабируемости» и противоречит принципиальным отличиям направленного ациклического графа от блокчейна.

При этом в любой момент можно проверить целостность записи и целостность самого поля хэша. Для поддержания целостности всей сети можно создать некий централизованный алгоритм, задачей которого будет периодическая проверка хэшей каждого блока. Конечно, чем больше записей в таблице базы данных, тем большее время будет затрачено на проверку всей сети. Но это необходимая мера предосторожности от злоумышленного вмешательства в работу распределённого реестра.

Теперь непосредственно алгоритм выбора двух предыдущих блоков для подтверждения. Сначала ищется минимальный существующий вес блока в базе данных. Если число блоков с таким весом больше одного, то выбирается тот блок, который создан раньше остальных. Таким образом, выбран один блок из двух необходимых.

Для второго блока процедура повторяется, но здесь уже необходима проверка того, что первый выбранный блок не совпадает со вторым. Минус этого алгоритма в том, что он не обеспечивает какую-либо ширину графа, что можно увидеть на рис. 2.

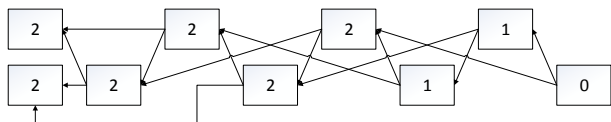


Рис. 2. Пример сети, построенной по первому алгоритму

Конечно, пример выше построен лишь для случая, когда новые блоки возникают не одновременно, а вполне последовательно. Стоит рассмотреть другой случай, представленный на рис. 3. В этом примере два блока, созданные одновременно (отмечены жирной рамкой), подтверждают одинаковые блоки. Тем самым они увеличили вес одной из ранее созданных транзакций до трёх. Однако потом работа сети более-менее восстанавливается, становится опять схожей с предыдущим примером.

Второй алгоритм создаёт ширину сети и даже подтверждает все ранее созданные блоки. Первый блок для подтверждения выбирается так же, как в первом алгоритме. Далее выбирается второй блок.

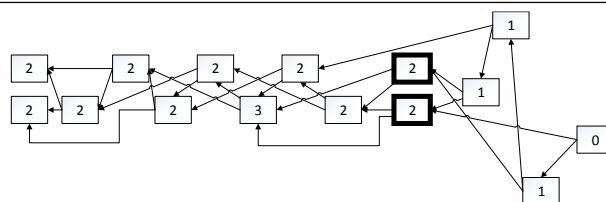


Рис. 3. Пример сети, построенной по первому алгоритму

– Если максимальный вес блока в сети меньше или равен 1, то второй блок равен самому старому блоку в сети с минимальным весом, и при этом не равному первому уже выбранному.

– Если же максимальный вес блока в сети больше 1, то происходит сравнение количества блоков с текущим выбранным весом (изначально он максимальный возможный) и количества блоков с весом, равным текущему выбранному, уменьшенному на 1. Если первых строго меньше, чем вторых, то выбирается самый старый блок с весом, равным текущему выбранному, уменьшенному на 1. Если их количества равны, то выбирается самый старый блок с текущим весом.

– Если ни одно из этих условий не выполнено, то выбранный вес уменьшается на единицу и проверки из пункта 2 проводятся заново.

– Если проверочный вес оказывается равен 1, то выбирается самый старый блок с максимальным весом.

Минусом данного алгоритма является чрезмерная ширина полученной сети. Количество записей с весом, равным 1, увеличивается чуть ли не в геометрической прогрессии, как показано на рис. 4.

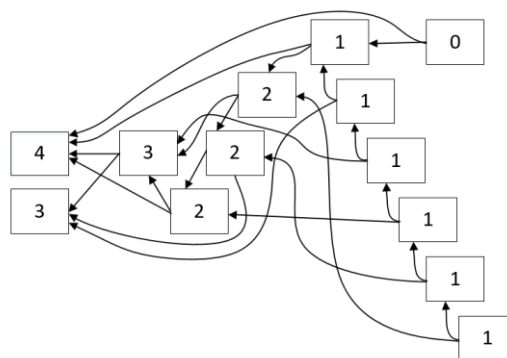


Рис. 4. Пример сети, построенной по второму алгоритму

По итогу в приложении используется первый вариант как наиболее простой в реализации, тем более, что он полностью удовлетворяет основным отличиям направленного ациклического графа от классического блокчейна. При одновременном создании нескольких новых блоков нет необходимости ожидать, пока они будут записаны в реестр, они запишутся одновременно, подтверждая одни и те же записи.

Приложение создано при помощи фреймворка Xamarin, запущено на устройстве с операционной системой Android, но теоретически благодаря особенностям платформы Xamarin оно может быть запущено на устройствах iOS.

В качестве хранилища записей используется встраиваемая база данных SQLite. Она не работает по концепции «клиент-сервер», как это делают обычные системы управления базами данных, а представляет собой библиотеку, которая встраивается в программу.

Ввиду использования уже готовых библиотек при написании кода в приложении реализованы зарубежные алгоритмы криптографии: ECDSA и SHA-256.

Заключение

В рамках работы были проведены исследования текущего состояния технологии распределённого реестра. Были изучены наиболее передовые решения в этой области, как результат сделан вывод о том, что наиболее перспективным алгоритмом распределённого реестра является его интерпретация на основе направленного ациклического графа.

На основе изученных технологий был разработан собственный алгоритм, реализующий технологию распределённого реестра. Он был применён при создании мобильного приложения.

Использованные алгоритмы обеспечивают меньшие затраты ресурсов по сравнению с обычными алгоритмами классического блокчейна, что является очень важным условием развёртывания реестра для устройств Интернета вещей и мобильных устройств в целом.

Разработанное приложение является концептом для будущего полноценного распределённого реестра, который можно будет внедрить в информационную систему какого-либо предприятия. Можно улучшить созданный алгоритм подтверждения двух

предыдущих блоков, а также реализовать криптографические методы, соответствующие отечественным стандартам.

Литература

1. Шваб К. Четвертая промышленная революция. – М.: Эксмо, 2016. – 208 с.
2. Ерешко А.Ф. Модель технологии распределённых реестров / А.Ф. Ерешко, А.В. Вахранев // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2018): матер. Одиннадцатой Междунар. конф. – 2018. – С. 407–410.
3. Строганов В.А. Блокчейн-платформа для хранения медицинских данных / В.А. Строганов, В.М. Антипенко, А.В. Ожегов // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий: матер. IV Межр. науч.-практ. конф. / Севастопольский гос. ун-т. – 2018. – С. 214–215.
4. Докукина М.В. Операции над множествами на направленном ациклическом графе // Вестник магистратуры. – 2017. – № 12-4. – С. 13.
5. IOTA, новое поколение технологии распределённых реестров – IOTA, The Next Generation of Distributed Ledger Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iota.org>, свободный (дата обращения: 07.03.2020).

Даутов Дамир Шамилевич

Студент магистратуры Уфимского гос. авиационного технического университета
Тел.: +7-987-253-81-77
Эл. почта: drovosek2703@yandex.ru

УДК 004.3, 004.08

И.Д. Котилевец, С.Ю. Данилов, Ш.Р. Гададов

Защитный кейс для огнестрельного оружия

Проблема несанкционированного и бесконтрольного применения оружия является как никогда актуальной. Особую важность данная тема приобретает в контексте новых технологий, которые помогают обеспечить безопасность хранения и использования оружия, а также позволяют точно отследить время и место использования.

Ключевые слова: связь, сети, мобильная связь, огнестрельное оружие, безопасность, 3D-печать.

В настоящий момент информационные технологии продолжают активно развиваться, затрагивая множество различных отраслей. Одной из них является огнестрельное оружие. В рамках данной статьи будет описан кейс для огнестрельного оружия, защищающий от несанкционированного или противоправного применения, позволяющий собирать данные о месте и времени разблокировки, отдельно опционально есть возможность собирать данные по владельцу кейса и т.д.

Оружие в зависимости от целей его использования подразделяется на штатное, гражданское, табельное, боевое, ручное, стрелковое и холодное. Рассмотрим подробнее гражданское и табельное оружие.

Гражданское оружие

По официальным данным Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации, на данный момент владельцами оружия в России являются более четыре миллиона человек. У них на руках более шести с половиной миллионов (6 619 861) единиц штатного оружия. Из них: 969 807 – нарезного, 4 409 541 – гладкоствольного, 925 447 единиц оружия ограниченного поражения, а также 309 509 газовых пистолетов и револьверов и 5 557 единиц мощного пневматического оружия, подлежащего регистрации.

Табельное оружие

К табельному оружию относится оружие, предназначенное для использования должностными лицами государственных органов и работниками юридических лиц, которым законодательством Российской Федерации разрешено ношение, хранение и применение указанного оружия в целях самообороны или для исполнения возложенных на них федеральным законом обязанностей по защите жизни и здоровья граждан, собственности, по охране природы и природных ресурсов, ценных и опасных грузов, специальной корреспонденции. К табельному оружию относится огнестрельное гладкоствольное и огнестрельное гладкоствольное длинноствольное оружие, а также огнестрельное оружие ограниченного поражения с патронами травматического действия.

Анализ проблем

Согласно п. 59 Постановления Правительства РФ от 21.07.1998 № 814 (ред. от 28.02.2013) «О мерах по регулированию оборота гражданского и табельного оружия и патронов к нему на территории

Российской Федерации», «Принадлежащие гражданам Российской Федерации оружие и патроны должны храниться по месту их проживания с соблюдением условий, обеспечивающих их сохранность, безопасность хранения и исключающих доступ к ним посторонних лиц, в запирающихся на замок сейфах или металлических шкафах, ящиках из высокопрочных материалов либо в деревянных ящиках, обитых железом. Органы внутренних дел по месту жительства владельцев имеют право проверять условия хранения зарегистрированного ими оружия».

Следуя из данного постановления, появляется проблема предоставления доступа посторонним лицам к сейфу, так как нет возможности контролировать передачу ключа/пароля от него.

Сотрудник полиции также вправе применять огнестрельное оружие «для производства предупредительного выстрела, подачи сигнала тревоги или вызова помощи путем производства выстрела вверх или в ином безопасном направлении, не подвергая опасности граждан».

Таким образом внедрение информационных технологий в табельное оружие позволит лучше контролировать криминогенную обстановку на подведомственном участке, анализировать активность применения оружия, а также позволит сократить время реагирования на правонарушения. Более того, в дальнейшем на основе этих данных можно собирать статистику на подведомственных участках для оптимизации действий сотрудников и в дальнейшем создании предиктивной модели реагирования на правонарушения или криминогенную ситуацию как в отдельно взятых районах, так и по всему городу.

Аналоги

На данный момент нет похожих готовых решений, ближайший аналог – возможность модернизировать готовое оружие или применять специализированное оружие, но этот способ нельзя использовать для массового применения. Защитный кейс является уникальным решением, он подходит для многих типов носимого оружия. Необходимо опционально разработать отдельные корпуса кейсов для охотничьего оружия.

Решение

Для решения указанной проблемы предлагается следующий алгоритм.

1. Интеграция в защитный кейс определенных датчиков для отслеживания.

1.1. Датчик, отслеживающий местоположение оружия с помощью ЭРА-ГЛОНАСС или SIM (Subscriber Identification Module - модуль идентификации абонента).

1.2. Емкостный биометрический датчик отпечатка пальца для валидации определенного владельца кейса.

1.3. Замок.

1.4. Датчик ориентации (акселерометр).

2. Создание мобильного приложения.

2.1. Синхронизация лицензий и базы данных приложения.

2.2. Создание личного кабинета.

2.3. Указание последней активации.

2.4. Алгоритм передачи данных в МВД или другие ведомства.

2.5. Функция добавления/изменения биометрических данных владельцев при, например, обновлении лицензии на владение оружием для гражданских лиц.

Интеграция в защитный кейс для отслеживания

Благодаря внедрению датчика, который отслеживает местоположение кейса с оружием с помощью ЭРА-ГЛОНАСС, впоследствии SIM, появляется возможность мониторить активацию кейса и потенциальное применение оружия. SIM предоставляет возможности как GPS (Global Positioning System – системы глобального позиционирования), так и отслеживания местоположения с помощью вышек сотовой связи. Исходя из данных факторов, появляется возможность снизить погрешность определения местоположения владельцев кейсов.

Биометрический датчик позволяет предотвращать несанкционированный доступ к огнестрельному оружию. Благодаря совокупному использованию SIM и биометрического датчика появляется возможность мониторить и анализировать различные критерии: когда и где был снят защитный кейс, кто пытался разблокировать кейс – зарегистрированный владелец или посторонний.

Также для увеличения точности и скорости разблокировки в кейсе можно задействовать емкостные сканеры (Capacitive Scanners), которые являются сегодня наиболее распространенными полупроводниковыми устройствами для получения изображения отпечатка пальца. Их работа основана на эффекте изменения емкости $p-n$ -перехода полупроводника при соприкосновении гребня папиллярного узора с элементом полупроводниковой матрицы.

Существуют модификации емкостных сканеров, в которых каждый полупроводниковый элемент в матрице выступает в роли одной пластины конденсатора, а палец – в роли другой. При приложении пальца к датчику между каждым чувствительным элементом и выступом-впадиной папиллярного узора образуется емкость, величина которой определяется расстоянием между рельефной поверхностью пальца и элементом. Матрицы этих емкостей преобразуются в изображение отпечатка пальца.

Датчик ориентации позволит предотвращать ложные срабатывания биометрического датчика.

Синхронизация лицензий и БД (базы данных) приложения

При инициализации пользователя сравниваются данные, поданные в МВД или другие ведомства, для последующей настройки устройства.

Создание личного кабинета

В личном кабинете пользователь будет видеть критерии, которые обусловлены самыми главными позициями:

1. Фамилия, имя и отчество владельца кейса.

2. Номер лицензии на огнестрельное оружие владельца.

3. Номер справки о прохождении медицинского осмотра.

4. Дата окончания лицензии.

5. Дата окончания медицинского осмотра.

6. Дополнительно можно также указывать данные о прохождении курса на владение оружием.

Указание последней активации

После успешного прохождения идентификации биометрическим сканером, данные поступают на сервер и, опционально, в приложение на телефон, откуда пользователь может посмотреть всю доступную ему информацию.

Алгоритм передачи в МВД

После считывания биометрии датчики фиксируют геопозицию и точное время для передачи на серверы МВД или других ведомств. В случае отсутствия или потери связи данные хранятся в кейсе и отправляются на серверы в случае возобновления связи.

Функция добавления/изменения биометрических данных

Для безопасности возможно добавление только одного биометрического экземпляра в устройство, для дальнейшего изменения биометрического отпечатка нужно запрашивать специальный код-пароль. В целях безопасности сканер прошивается под чип, и при замене сканера не в сервисном центре открытие устройства невозможно. Сервисным центром могут служить центры выдачи лицензий на оружие.

На основе вышеописанного был создан прототип защищенного кейса (рис. 1 и 2), включающий в себя датчики, замок и напечатанный на 3D-принтере корпус. Также разработано тестовое мобильное приложение, куда прототип защищенного кейса посылает данные в связи с временным отсутствием возможности отправлять данные на серверы МВД и других ведомств (рис. 3–5).

Прототип на текущем этапе выполняет весь функционал, кроме отправки данных на серверы МВД, вместо этого данные отправляются на выделенный сервер и мобильное приложение, а также успешно показал себя в испытаниях, в том числе с участием сотрудников полиции и Росгвардии.

Также была создана вторая версия кейса, размер которой уменьшен на 25% без потери функционала (рис. 6 и 7).

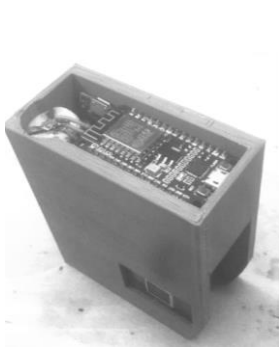


Рис. 1. Контроллер прототипа в корпусе, напечатанном на 3D-принтере



Рис. 2. Биометрический датчик прототипа в корпусе, напечатанном на 3D-принтере

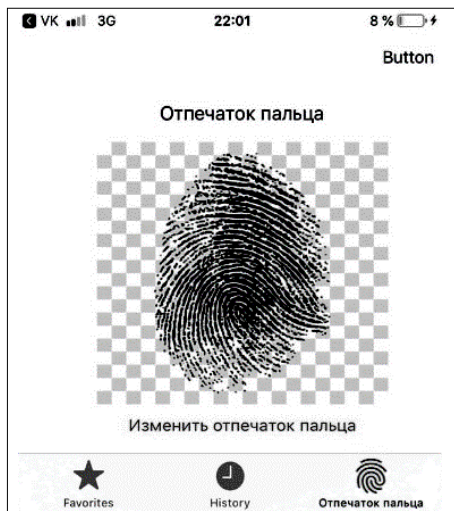


Рис. 3. Пример работы мобильного приложения для защитного кейса, страница биометрических данных владельца устройства

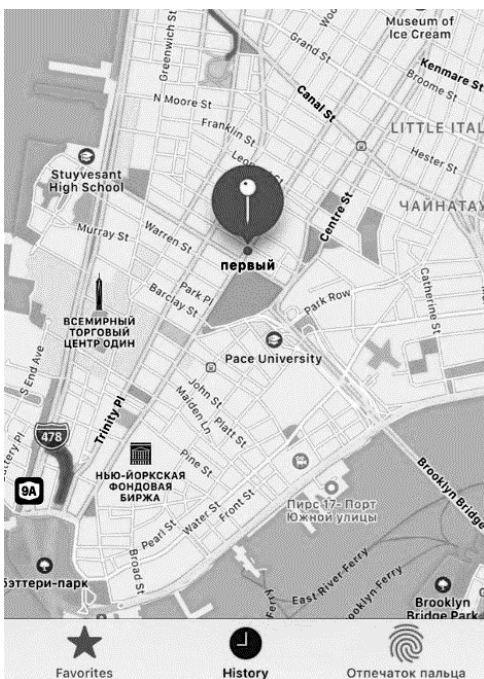


Рис. 4. Пример работы мобильного приложения для защитного кейса, страница геолокационной отметки об использовании прототипа владельцем устройства

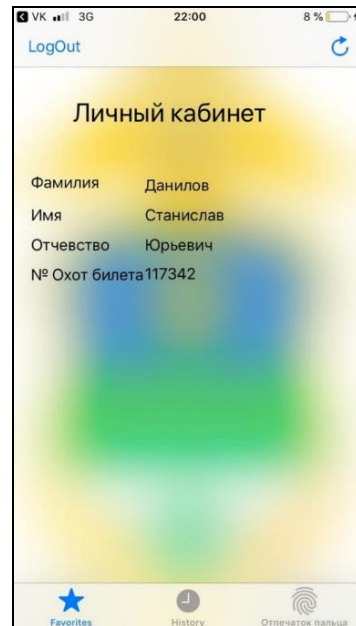


Рис. 5. Пример работы мобильного приложения для защитного кейса, страница личного кабинета владельца, количество данных на текущем этапе ограничено

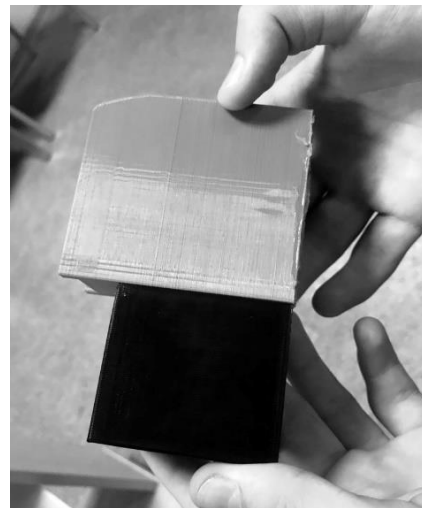


Рис. 6. Вторая версия кейса



Рис. 7. Вторая версия кейса на макете пистолета

На основе кейса разрабатывается полноценная интеллектуальная кобура для огнестрельного ору-

жия, обладающая тем же набором функций, что и кейс, но повышенной эргономикой (рис. 8).

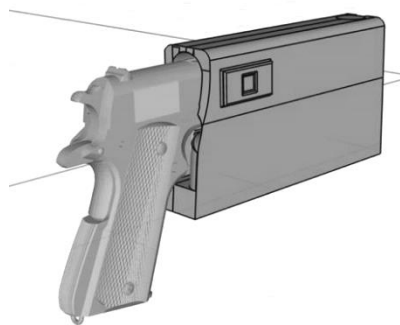


Рис. 8. Эскиз прототипа интеллектуальной кобуры для огнестрельного оружия

Заключение

На данный момент только начинается этап массовой интеграции огнестрельного оружия и информационных технологий. Сегодня интеллектуальные системы представляют собой дополнения и надстройки над самим оружием, облегчающие его использование, но лишь частично решающие проблемы контроля, анализа и мониторинга.

Предложенный в статье кейс, а его дальнейшее развитие в виде кобуры могут помочь улучшить контроль и мониторинг огнестрельного оружия, позволят обеспечить безопасность владения и использования оружия, а также создать платформы по мониторингу и контролю за огнестрельным оружием. В дальнейшем, при развитии технологий, появится возможность создать платформу для мониторинга и анализу криминогенной ситуации.

Созданный прототип кейса на текущем этапе позволяет производить необходимые манипуляции: регистрация пользователя, разблокировка и блокировка кейса, отправка данных на сервер и телефон. Участвующий в эксперименте сотрудник полиции

выявил несколько недостатков, ведется работа над их исправлением.

Литература

1. Принципы работы биометрических датчиков [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Распознавание_отпечатков_пальцев
2. Получение лицензии на приобретение огнестрельного оружия ограниченного поражения и патронов к нему // Госуслуги [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gosuslugi.ru/127718/2/info>
3. Статьи с указанием Росгвардии [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/58de0719a7947aef5402b04>
4. Хранение оружия и патронов [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19504/81acb1053d663520577a756b5022f649cf447ad6/
5. Применение огнестрельного оружия [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_110165/73f31e44672736d57e7b4937fc7b72e270da480f/

Котилевец Игорь Денисович

Преп. каф. КБ-4 РТУ МИРЭА
Вернадского пр-т, 78, ЦФО, г. Москва, Россия, 119454
Тел.: 8-916-176-12-09
Эл. почта: ikotilevets@gmail.com

Данилов Станислав Юрьевич

Лаборант каф. КБ-4 РТУ МИРЭА
Вернадского пр-т, 78, ЦФО, г. Москва, Россия, 119454
Тел.: 8-977-697-14-79
Эл. почта: danilov_stanislav99@mail.ru

Гададов Шамиль Рустамович

Лаборант каф. КБ-4 РТУ МИРЭА
Вернадского пр-т, 78, ЦФО, г. Москва, Россия, 119454
Тел.: 8-977-423-47-50
Эл. почта: gadadov2@mail.ru

УДК 519.668: 004.89

Я.А. Усольцев, А.А. Коновалов, Б.С. Лодонова, А.Ю. Якимук, Е.Ю. Костюченко

Изучение влияния гиперпараметров нейронной сети на ее работу и исследование возможности проведения атаки состязательного типа на специфичном наборе данных

Рассмотрено влияние количества нейронов на надежность системы, а также проведено исследование надежности системы при увеличении интенсивности атаки состязательного типа.

Ключевые слова: машинное обучение, состязательная атака, нейронная сеть, алгоритм машинного обучения, аутентификация, биометрия, переобучение, функция потерь.

Алгоритмы машинного обучения, особенно нейронные сети, имеют ряд уязвимостей, связанных с особенностями реализации. Это позволяет злоумышленникам обманывать использующие данные алгоритмы системы с помощью заранее подготовленных данных [1] либо за счет раннего внедрения черного хода в код системы [2]. И поскольку алгоритмы машинного обучения занимают значимую часть информационного пространства, в том числе и в системах безопасности [3, 4], и зарекомендовали себя в качестве универсального и гибкого инструмента [5], то решение задач, связанных с проблемами уязвимостей таких алгоритмов, является актуальной темой.

Описание исследуемой системы

Исследуемая система без атаки представляет собой скрипт, написанный на языке Python [6] и включающий в себя: создание нейронной сети с заданными параметрами, зашумление входных данных для обучения посредством случайной генерации новых наборов на основе имеющихся наборов с отклонением 1%, обучение сети, выбор порога принятия решения, тестирование обученной нейронной сети, получение и корректное представление различных статистических ошибок. Входными данными для обучения нейронной сети являются наборы данных о подписях, по несколько десятков на каждого пользователя, представленные в виде 144 параметров подписи, дающих полную информацию о динамике написания подписи. На момент исследований имелось 2 445 параметризованных подписей от 22 пользователей. В рамках системы пользователь идентифицируется по уникальному для каждого пользователя номеру от 1 до 22 включительно. Для симуляции работы нейронной сети пользователи разделены на легитимных (13 пользователей), на основе которых будет происходить обучение сети, и незарегистрированных в системе (11 пользователей), подписи которых система должна отвергать во время тестирования. Для всех пользователей предусмотрен процесс зашумления на 15% для добавления энтропии. По умолчанию создается нейронная сеть, принимающая 144 параметра во входном слое, имеющая 30 нейронов в промежуточном слое и возвращающая вектор результатов, количество элементов в котором равно числу пользователей, зарегистрированных в

системе в качестве легитимных пользователей, и отображает, которому из них принадлежит введенная подпись. По результатам тестирования обученной нейронной сети формируются данные о сумме ошибок первого и второго рода, ошибке системы и суммарной ошибке первого и второго рода при десятикратном приоритете ошибки второго рода.

Скрипт на языке Python для построения и обучения нейронной сети состоит из следующих элементов:

- выгрузка данных с Google Drive;
- разбиение наборов данных подписей на две части;
- обучение нейронной сети и тестирование сети;
- создание нейронной сети с заданными параметрами;
- обучение сети;
- тестирование обученной нейронной сети;
- выбор порога принятия решения;
- получение и корректное представление различных статистических ошибок.

В качестве функции потерь выбрана функция категориальной кроссэнтропии.

На данном этапе исследования атак на систему изучается подтип атаки, именуемой состязательной [7]. Атака состоит в следующем: для системы подготавливается похожий на ее входные параметры пример, который в дальнейшем должен быть распознан как один из легитимных. Этот пример создается следующим образом: изымается один из примеров данных легитимного пользователя, подвергается изменению, затем передается системе. В этом случае система не принимает входной набор, что вызывает рост ошибок второго рода. Состязательная атака строится на основе градиентного метода подбора параметров.

Процессы обучения и тестирования системы идентичны таковым у системы без атаки и в результате формируются аналогичные данные об ошибках на системе в целом, однако помимо вышеописанного добавляется также вычисление ошибки второго рода на атакуемом пользователе с целью исследования потенциальных возможностей злоумышленника.

Исследуемые вопросы

В рамках исследования машинного обучения при биометрической аутентификации и атак на него

был проведен эксперимент, связанный с изменением количества нейронов в промежуточном слое.

Проводилось измерение влияния интенсивности атаки состязательного типа на точность определения пользователей.

Зависимость точности работы нейронной сети от количества нейронов в промежуточном слое

Для исследуемой сети проводилось варьирование количества нейронов в промежуточном слое с целью выявить максимальное количество нейронов, при котором точность работы сети максимальна, функция потерь минимальна, а сама сеть не проявляет признаков переобучения.

В качестве критерия переобучения сети используются зависимости функции потерь и функции точности от количества пройденных эпох при различном количестве нейронов в промежуточном слое, но одинаковом количестве эпох.

В результате при изменении количества нейронов в промежуточном слое без атаки на обучающуюся нейронную сеть были получены графики зависимостей суммы статистических ошибок первого и второго рода от количества нейронов в промежуточном слое (рис. 1).

Сумма ошибок первого и второго рода

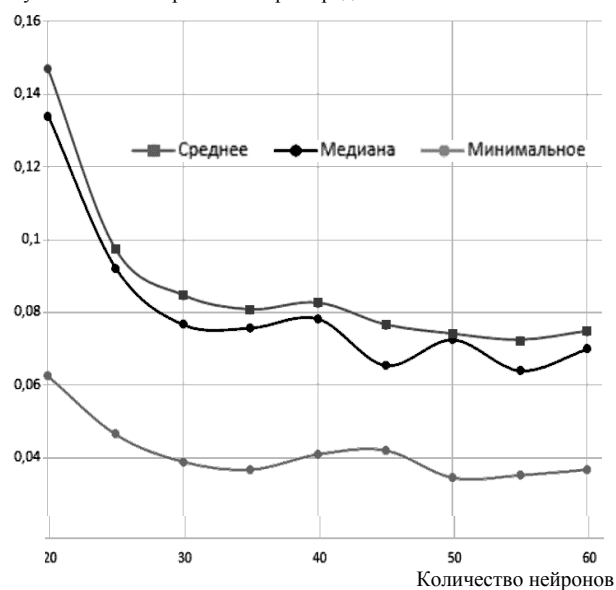


Рис. 1. Зависимость суммы статистических ошибок первого и второго рода от количества нейронов в промежуточном слое

На данном графике на оси абсцисс отложено количество нейронов в промежуточном слое, а на оси ординат — значение суммы статистической ошибки первого и второго рода.

Были получены графики функции точности от количества эпох при различном количестве нейронов (рис. 2, а–е).

Также были получены графики функции потерь — функции категориальной кросс-энтропии — от количества эпох при различном количестве нейронов (рис. 3, а–е).

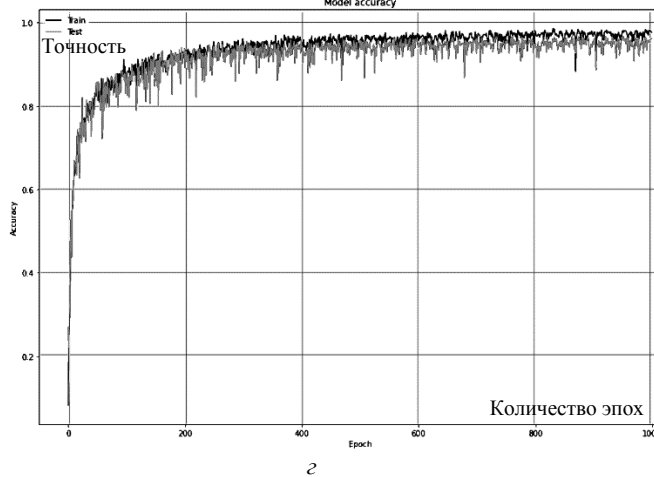
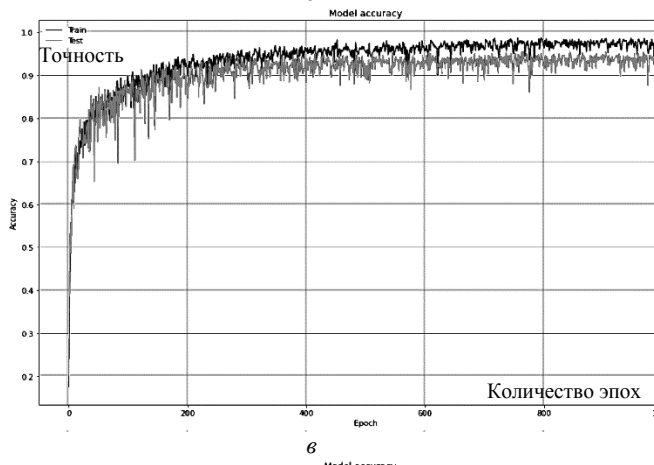
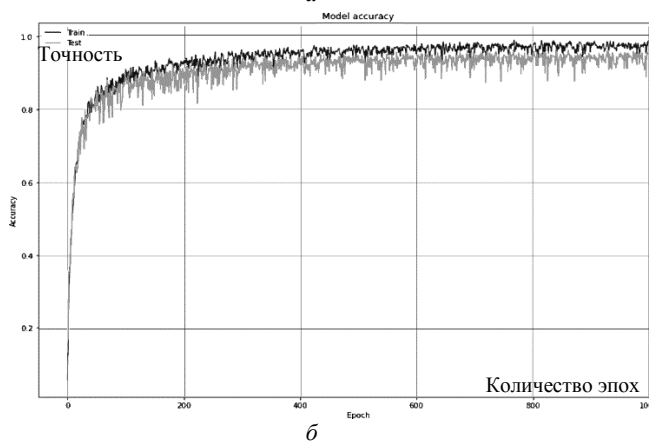
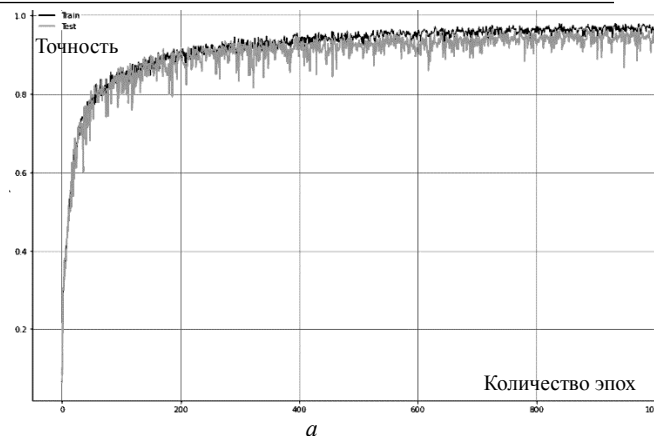


Рис. 2 (начало)

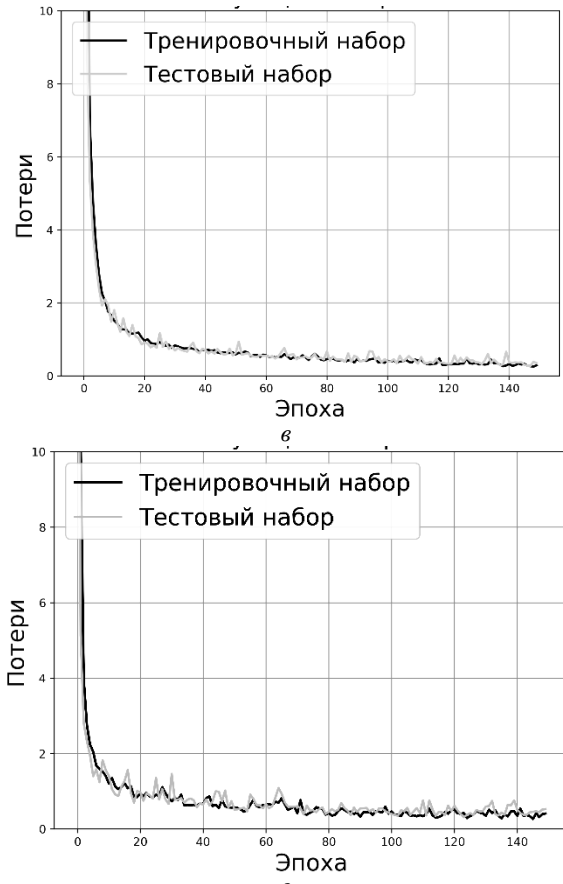
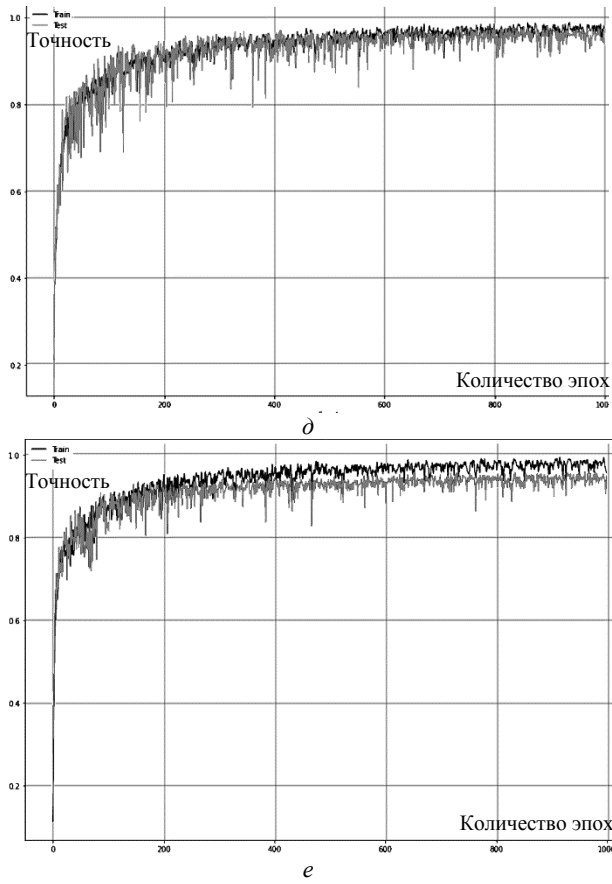


Рис. 2 (окончание). График функции точности от количества эпох при: а – 20; б – 30; в – 40; г – 50; д – 60; е – 70 нейронах

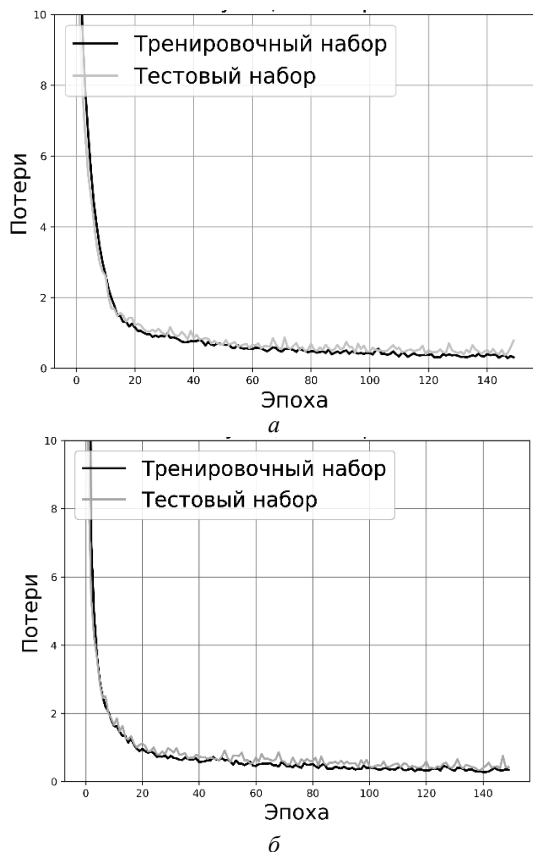


Рис. 3 (начало)

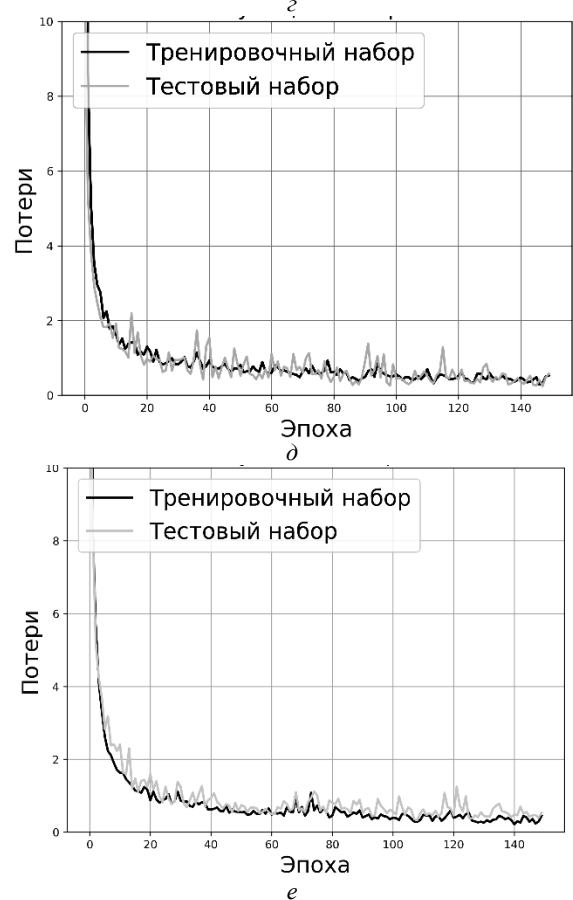


Рис. 3 (окончание). График функции потерь от количества эпох при: а – 20; б – 30; в – 40; г – 50; д – 60; е – 70 нейронах

Из графиков видно, что при увеличении количества нейронов выше 60 наблюдается снижение функции точности и увеличение функции потерь на тестовом наборе и обратная ситуация на обучающем наборе, что свидетельствует о переобучении, однако данное переобучение не оказывает влияния на работу системы в целом, поскольку не происходит изменения суммы ошибок первого и второго рода, что представлено на рис. 4.

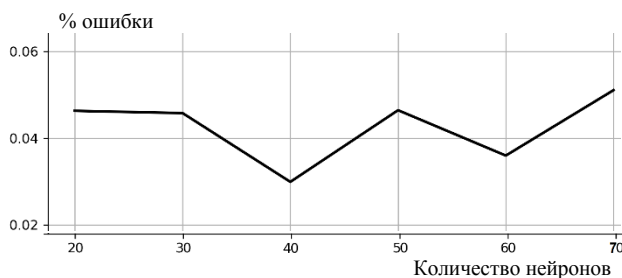


Рис. 4. График зависимости среднего значения суммы ошибок первого и второго рода от количества нейронов

Следовательно, созданная нейронная сеть также переобучается при количестве нейронов больше 60, однако переобучение выражается не столь явно.

Реализация атаки соревновательного типа

В период данного семестра на созданную систему проведена атака соревновательного типа. В результате получены результаты, показанные на рис. 5.

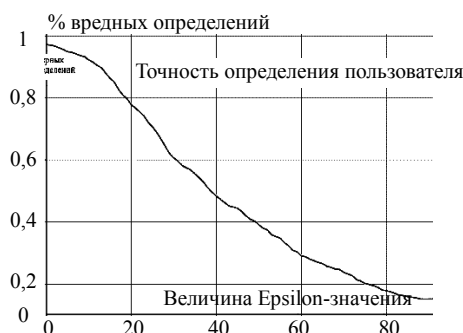


Рис. 5. График зависимости точности работы сети от интенсивности атаки

При копировании более 40% от набора пользователя и воссоздании на основе данной копии набора для проведения атаки точность работы системы падает ниже 50%. Это значит, что точность работы сети аналогична случайному угадыванию, и система крайне подвержена данному типу атаки. Таким образом удалось реализовать на нетипичном датасете состязательную атаку с градиентным спуском для подбора входных данных, использовавшуюся ранее только для систем распознавания визуальных образов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках научных проектов, выполняемых коллективами научно-исследовательских лабораторий образовательных учреждений высшего профессионального образования Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, номер проекта FEWM-2020-0042.

Авторы выражают благодарность Иркутскому суперкомпьютерному центру СО РАН за предоставленный доступ к НРС-кластеру «Академик В.М. Матросов».

Литература

1. Goodfellow I.J., Shlens J., Szegedy C. Explaining and Harnessing Adversarial Examples // arXiv:1412.6572 [cs, stat]. – 2014.
2. Chen B. et al. Detecting Backdoor Attacks on Deep Neural Networks by Activation Clustering // arXiv: 1811.03728 [cs, stat]. – 2018.
3. Information security methods-modern research directions / A. Shelupanov, O. Evsyutin, A. Konev, E. Kostyuchenko, D. Kruchinin, D. Nikiforov // Symmetry. – 2019. – Vol. 11, № 2. – P. 150.
4. Integration of bayesian classifier and perceptron for problem identification on dynamics signature using a genetic algorithm for the identification threshold selection / E. Kostyuchenko, M. Gurakov, E. Krivonosov, M. Tomyshev, R. Meshcheryakov, I. Hodashinskiy // Lecture Notes in Computer Science. – 2016. – Vol. 9719. – P. 620–627.
5. Fusion of BiLSTM and GMM-UBM systems for audio spoofing detection / I. Rakhmanenko, A. Shelupanov, E. Kostyuchenko // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – 2019. – Vol. 8, № 4. – P. 1741–1746.
6. Convolutional Neural Networks in Python [Electronic resource] // DataCamp Community. – 2017. – URL: <https://www.datacamp.com/community/tutorials/convolutional-neural-networkspython> (accessed: 5.04.2020).
7. Yu Xiaoyong, Pan He, Qile Zhu, Xiaolin Li. Adversarial Examples: Attacks and Defenses for Deep Learning // Ieee Transactions on Neural Networks and Learning Systems 30, Vol. 9 (sept. 2019): 2805–24. – URL: <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2886017>.

Усольцев Яков Александрович

Студент Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-961-890-75-31
Эл. почта: yakovmen62gmail.com

Лодонова Бальжит Соктоевна

Студентка ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-999-618-83-60
Эл. почта: balzhit@mail.ru

Коновалов Артем Андреевич

Студент ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-999-618-83-60
Эл. почта: artemian000@gmail.com

Якимук Алексей Юрьевич

Ст. преп. факультета безопасности ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 41-34-26
Эл. почта: office@keva.tusur.ru

Костюченко Евгений Юрьевич

Доцент факультета безопасности ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 41-34-26
Эл. почта: key@keva.tusur.ru

УДК 519.722

А.Г. Малашина

Модификация одного алгоритма восстановления текстовых сообщений и математическая модель распределения числа осмысленных текстов

Предложена модификация одного из методов восстановления зашифрованного текстового сообщения в поточных шифрах. Сгенерированы словари n -грамм, используемые для реализации данного метода, и исследованы их статистические свойства. Предложена методика оценки полноты и достаточности составляемых словарей. Построена математическая модель распределения осмысленных текстов на русском языке, возникающая при восстановлении отдельных участков зашифрованного текста. Найдены оптимальные параметры для предлагаемого алгоритма.

Ключевые слова: словари n -грамм, энтропия n -грамм, защита информации, информационная безопасность, осмысленные тексты.

В ряде задач по анализу алгоритмов защиты информации возникает ситуация, когда относительно знаков неизвестного исходного текстового сообщения появляется информация о возможных вариантах его знаков [1]. Если количество вариантов для каждого знака относительно невелико, то исходное сообщение достаточно просто восстанавливается полностью. В противном случае если количество вариантов знаков можно считать случайным, появляется возможность построить процедуру поиска и последующего восстановления отдельных участков сообщения, на которых сосредоточены знаки с относительно небольшим количеством возможных вариантов.

Модификация алгоритма восстановления текстового сообщения

В традиционном подходе для каждого символа зашифрованного сообщения известно ограниченное число вариантов знаков исходного текста. В этом случае если под каждым неизвестным знаком сообщения выписать все известные для него варианты, посредством перебора всех возможных комбинаций вариантов символов удаётся восстановить осмысленный исходный текст (рис. 1) [1].

П	Ж	С	В	Г	О	П	Г	Ж	С
О	Ё	Р	Б	В	Н	О	В	Ё	Р
Н	Е	П	А	Б	М	Н	Б	Е	П

Рис. 1. Классическая схема бесключевого восстановления исходного текста

Однако с увеличением количества вариантов знаков для каждого символа сообщения восстановление исходного текста подобным образом становится затруднительным из-за высокой степени неоднозначности выбора осмысленного текста, возникающей в процессе отыскания подходящих вариантов восстановления. Для русского языка однозначное восстановление теоретически возможно, когда количество возможных вариантов символов исходного текста не превышает 16 знаков [1]. Кроме того, на практике известная информация о символах исходного текста распределена неравномерно. В этом

случае представляется возможным восстановить исходный текст лишь на отдельных участках зашифрованного сообщения, т.е. там, где сосредоточены знаки с относительно небольшим количеством возможных вариантов.

В данной статье предлагается алгоритм восстановления отдельных отрезков сообщения, основанный на использовании словарей n -грамм [3]. Словари составляются на основе собранного языкового корпуса – общественно-политических текстов на русском языке [2].

Пусть для каждого символа зашифрованного сообщения удалось построить множество вариантов его знака, среди которых находится истинный символ. Число таких возможных вариантов может иметь различное вероятностное распределение. Восстановление неизвестного сообщения заключается в нахождении осмысленного текста среди всех построенных комбинаций текста из известных вариантов символов исходного текста.

Для того чтобы найти участки сообщения, для которых число подходящих вариантов дешифрования близко к единице, предлагается оценка L_i : *среднее геометрическое значение* количества возможных вариантов для соответствующего отрезка. Отбираются только те отрезки сообщения, для которых L_i не превышает заранее заданной критической границы $L_{кр}$:

$$L_i = \sqrt[n]{l_{i_1} \cdot l_{i_2} \cdot \dots \cdot l_{i_n}} \leq L_{кр}, \quad (1)$$

где n – длина отрезка, l_{i_j} – количество вариантов символа для j -го знака в i -й n -грамме.

Процедура восстановления отобранных участков сообщения заключается в переборе всех возможных комбинаций, которые можно построить, используя известные варианты символов для каждого знака выбранного отрезка. Если построенный вариант является словарной величиной, то считается, что он представляет собой часть осмысленного текста, и рассматривается как потенциальный отрезок исходного текста сообщения. Если же состав-

ленная n -грамма не присутствует в словаре, то предполагается, что она является текстом случайной структуры и отвергается как ложный вариант дешифрования.

В зависимости от количества найденных осмысленных вариантов отрезков сообщения считается успешно восстановленным либо невосстановленным. Предлагается следующая оценка максимально допустимого числа вариантов дешифрования N для участков сообщения заданной длины:

$$N = 2^{0,1n}, \quad (2)$$

где n – длина участка сообщения.

Статистические свойства словарей различных языковых моделей

Исследование возможности восстановления отдельных участков сообщения в описанных выше ситуациях основывается на создаваемых словарях, поэтому целесообразно изучение их статистических свойств [2]. В данном разделе приведены результаты исследования вероятностного и статистического распределения слов и n -грамм русского языка.

Для составления словарей используются две языковые модели: лексическая (единица анализа – токены) и n -граммная (n символов). Словари генерируются из текстового корпуса объемом 10 млн символов (табл. 1).

Таблица 1

Объём составленных словарей	
Единицы анализа	Объём словаря
Токены (слововхождения)	163 091
10-граммы	6 217 191
15-граммы	9 482 897
20-граммы	10 372 296
25-граммы	10 629 589

Теоретический подход к оценке величины покрытия

Чтобы использовать созданные словари в алгоритме восстановления участков сообщения, они должны быть достаточно полными. Полнота словарей обуславливается их покрытием.

Предлагается следующий подход к теоретической оценке покрытия словарей.

Пусть получен словарь объемом N элементов. Поскольку он составляется на материале ограниченного объёма, данный словарь не обладает полным покрытием. Для оценки размера словаря, компенсирующего недостаток покрытия исходного, предполагается использовать следующую теоретическую оценку:

$$\tilde{N} = \frac{N}{1 - n/N}, \quad (3)$$

где N – размер исходного словаря, n – число однократно встречающихся элементов словаря.

Тогда $1 - n/N$ – доля повторяющихся элементов в словаре, а $(1 - \frac{n}{N})N$ – число повторяющихся элементов исходного словаря. Очевидно, $(1 - n/N)N \leq N$.

На основе экспериментальных данных известно, что до определённого момента число новых слов в словаре растёт с линейной скоростью [2]. Чтобы получить словарь, состоящий из N повторяющихся элементов, нужно увеличить его объём в $1/(1 - n/N)$ раз.

Таким образом, новый словарь объемом $\tilde{N} = \frac{N}{1 - \frac{n}{N}}$ содержит около N повторяющихся элементов. Тогда покрытие нового словаря исходным оценивается как

$$\frac{\tilde{N}}{N} \cdot 100\% = (1 - \frac{n}{N}) \cdot 100\%. \quad (4)$$

Следовательно, теоретической оценкой покрытия словаря можно считать долю повторяющихся элементов $1 - n/N$ в словаре объемом N .

Величина \tilde{N} гипотетического словаря используется в дальнейшем для оценки объёма словаря на следующей итерации (после очередного увеличения длины исходного материала) и сравнения ожидаемой величины покрытия с реальной.

Покрытие словарей может быть найдено также эмпирическим методом (табл. 2). Для этого экспериментально оценивается доля тестового экземпляра текста, покрываемая выбранным словарём.

Таблица 2

Величина покрытия словарей		
Словарь	Теоретическое покрытие, %	Эмпирическое покрытие, %
Токенов (слововхождений)	70,63	76,45
10-грамм	19,95	39,71
15-грамм	7,21	12,03
20-грамм	3,27	3,12
25-грамм	2,07	0,84

Информационная энтропия и закон Ципфа

Многие языки имеют распределение слов, близкое к распределению Парето, т.е.

$$p_i = \frac{1}{c \cdot i^m}, \quad c = \sum_{i=1}^m \frac{1}{i^m} = \text{const}, \quad (5)$$

где p_i – вероятность появления i -го слова, m – размер алфавита, n – длина слова [4].

Таким образом, частота использования слов, упорядоченных по убыванию их встречаемости, обратно пропорциональна их порядковому рангу. Данное соотношение называется законом Ципфа [5].

Для проверки качества и естественности созданных словарей проводится проверка их соответствия закону Ципфа. Экспериментальные данные сопоставляются с идеальными значениями распределения Парето (рис. 2).

Основополагающим принципом рассматриваемого алгоритма является предположение о том, что n -грамма осмыслена только тогда, когда она присутствует в словаре. Поэтому объём D соответствующего словаря n -грамм – это эмпирическая оценка коли-

чества осмысленных текстов в русском языке длины n . Тогда верно соотношение

$$D = 2^{H \cdot n}, \quad (6)$$

где n – длина текста, H – энтропия источника [1].

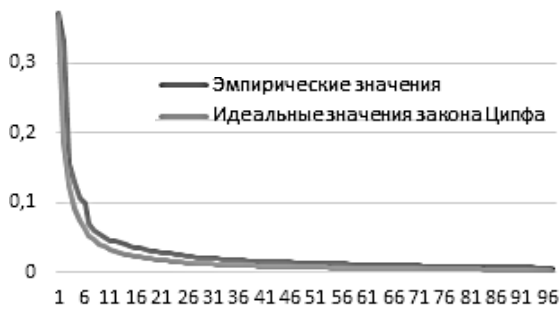


Рис. 2. Закон Циффа

В таком случае энтропию n -грамм можно оценить, опираясь на эмпирическую величину D :

$$H_n = \log_2 \frac{D}{n}. \quad (7)$$

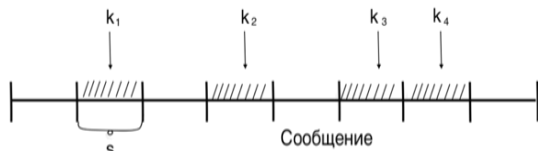


Рис. 3. Распределение числа осмысленных текстов

В табл. 3 приведены значения информационной энтропии n -грамм исследуемого текстового корпуса: N_{10^6} – словарь на материале 1 млн символов, \tilde{N}_{10^6} – теоретический словарь, компенсирующий неполноту словаря N_{10^6} (теоретическая оценка размера N_{10^7}), N_{10^7} – словарь на материале 10 млн символов.

Таблица 3

Значения энтропии n -грамм			
n	N_{10^6}	\tilde{N}_{10^6}	N_{10^7}
10	1,94	2,20	2,26
15	1,32	1,57	1,55
20	0,99	1,22	1,17
25	0,79	0,99	0,93

Значения энтропии n -грамм, полученные на основе теоретической оценки размера исходного словаря, близки к значениям энтропии, полученным эмпирически после увеличения исходного текстового материала в 10 раз. Это говорит о том, что предлагаемая формула (3) позволяет получить правдоподобную оценку размера полного словаря n -грамм.

С ростом величины n энтропия n -грамм приближается к реальному значению энтропии русского языка.

Математическая модель распределения числа осмысленных текстов

Количество осмысленных текстов и вероятность их появления при дешифровании участков

сообщения могут быть представлены в виде математической модели.

Пусть $N = m^s$ – общее количество s -грамм, которые могут быть построены из символов алфавита мощностью m , D – число осмысленных текстов длины s в том же алфавите, n – число построенных вариантов для восстанавливаемого отрезка сообщения (в рассматриваемой модели – разное для каждого дешифруемого отрезка из-за различных длин колонок), k – количество найденных осмысленных текстов для восстанавливаемого отрезка сообщения.

Тогда вероятность того, что в выборке из n различных вариантов восстановления, полученных из множества всех возможных вариантов N , содержащего D осмысленных текстов, ровно k вариантов окажутся осмысленными, описывается гипергеометрическим распределением, т.е.

$$P(k) = \frac{C_D^k C_{N-D}^{n-k}}{C_N^n}. \quad (8)$$

Если восстановлению подвергаются участки неизвестного текста длиной s символов с использованием словаря s -грамм объема D , то вероятность появления k осмысленных вариантов восстановления описывается табл. 4 (l_i – количество вариантов символов для i -го знака, объем алфавита – 35 символов).

Таблица 4

Гипергеометрическая модель			
Число вариантов	Найденных	Не найденных	Всего
Осмысленных	k	$D-k$	D
Неосмысленных	$n-k$	$N-D-n+k$	$N-D$
Всего	$n = l_1 l_2 \dots l_s$	$N-n$	$N = 35^s$

В теории и на практике общее число текстов N значительно превышает размер выборки n ($n \ll N$). В этом случае гипергеометрическое распределение хорошо аппроксимируется биномиальным распределением с параметрами n и D/N .

Для сопоставления теоретических вероятностей с эмпирическими проводится экспериментальное восстановление 5-грамм тестового сообщения. Варианты возможных символов для каждого знака сообщения генерируются случайно на основе дискретного равномерного распределения. Для восстановления выбираются отрезки со средней геометрической глубиной колонок не больше 12 символов. Для каждого восстанавливаемого отрезка фиксируется общее число всех возможных вариантов и количество осмысленных (т.е. присутствующих в словаре).

На рис. 4 представлены теоретические и эмпирические вероятности появления различного числа осмысленных текстов при восстановлении 5-грамм сообщения. Вероятность появления k осмысленных вариантов восстановления с ростом k резко уменьшается.

В гипергеометрической модели наиболее вероятные значения располагаются при k от 50 до 70. В эмпирической выборке наиболее вероятные значе-

ния k лежат в интервале от 40 до 75, что полностью оправдывает теоретические ожидания.

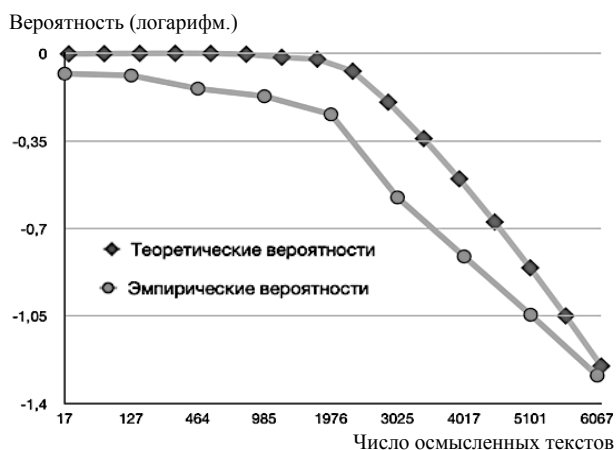


Рис. 4. Распределение числа осмысленных текстов

Такая степень неоднозначности слишком высока для восстановления истинного исходного текста, поэтому на практике дешифрование 5-грамм вышеописанным способом практически невозможно.

Используя гипергеометрическое моделирование, определяется наиболее вероятное количество осмысленных текстов M_0 (мода), которое может появиться при дешифровании s -грамм различной длины (с учётом того, что истинный осмысленный вариант всегда присутствует в выборке). \bar{X} – выборочное среднее найденных осмысленных вариантов дешифрования (табл. 5).

Таблица 5

Вероятное число осмысленных текстов

Длина отрезка	M_0 (теор.)	\bar{X} (практ.)
10	8–12	16,38
15	3	2,64
20	1	1

С увеличением длины отрезка сообщения уменьшается степень неоднозначности восстановления исходного текста. Проведённое моделирование позволяет выбрать наиболее оптимальный параметр алгоритма – длину восстанавливаемого отрезка сообщения – на основе максимально эффективного соотношения между степенью неоднозначности восстановления исходного текста и покрытием соответствующего словаря. Для эффективной работы рассматриваемого алгоритма предлагается использовать s -граммы длиной от 15 до 20 символов.

Заключение

В данной работе был рассмотрен алгоритм восстановления отдельных участков неизвестного исходного сообщения при заданных вариантах его знаков. Для реализации данной процедуры созданы специальные словари и исследованы их статистические свойства. Кроме того, разработана методика теоретической оценки покрытия словарей и проведена экспериментальная оценка её релевантности. На основе гипергеометрического распределения смоделированы вероятности появления различного количества осмысленных текстов, что позволило определить оптимальный параметр предлагаемого алгоритма: восстановление отрезков длиной от 15 до 20 символов.

Литература

1. Алферов А.П. Основы криптографии: учеб. пособие. – 3-е изд., испр. и доп. / А.П. Алферов, А.Ю. Зубов, А.С. Кузьмин, А.В. Черемушкин. – М.: Гелиос АРВ, 2005. – 408 с.
2. Малашина А.Г. Статистический анализ языковых моделей русского языка на основе новостного текстового корпуса // Межвуз. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского: матер. конф. – 2020 (в печати).
3. Малашина А.Г. Алгоритм восстановления отдельных частей сообщения по информации о возможных значениях его знаков // Межвуз. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского: матер. конф. – 2019. – С. 215–217.
4. Kechedzhy K.E. Rank distributions of words in additive many-step Markov chains and the Zipf law / K.E. Kechedzhy, O.V. Usatenko, V.A. Yampol'skii // Phys. Rev. E. – 2005. – Vol. 72.
5. Gelbukh A. Zipf and Heaps Laws' Coefficients Depend on Language / A. Gelbukh, G. Sidorov. – Mexico City: Conference on Intelligent Text Processing and Computational Linguistics, 2001.

Малашина Анастасия Геннадьевна

Аспирант каф. компьютерной безопасности НИУ ВШЭ
Таллинская ул., 34, г. Москва, Россия, 123592
ORCID: 0000-0002-5163-0593
Тел.: +7 (495-7) 72-95-90, доп. 15125
Эл. почта: amalashina@hse.ru

УДК 004.89

А.М. Федотова, А.В. Куртукова, С.Е. Шаньшин, А.С. Романов

Разработка методики определения авторства русскоязычного текста на основе аспектного анализа

Представлены использование методов аспектного анализа и частот авторских признаков с целью определения автора текста, написанного на русском языке, обзор современных решений, посвящённых данному вопросу, а также описан подход извлечения аспектов и признаков, позволяющих выявить индивидуальные особенности стиля письма. Корпус включает в себя 203 текста на русском языке, для которых автор доподлинно известен.

Ключевые слова: аспектный анализ, авторство текста, авторский стиль, классификация текстов.

Идентификация авторства текста по-прежнему остаётся актуальной исследовательской проблемой, имеющей множество применений как для криминалистики, так и для лингвистики. В связи с открытым доступом к источникам информации её достоверность требует проверки. Следовательно, определение авторства позволит выяснить, является ли источник информации тем, за кого себя выдаёт. Данная проблема связана и с институтом авторского права. За последние годы появилось множество обвинений в плагиате литературы, в том числе с целью присвоения результатов трудов. Таким образом, плагиат текста касается не только юридической, но и нравственной ответственности.

Целью работы является применение аспектного анализа к установлению автора текста. Система выбирает для исследуемого текста кандидата-автора, сравнивая текст, авторство которого следует определить, с набором других примеров, устанавливая общее и различное.

Важным нововведением данной работы является применение аспектного анализа, т.к. в большинстве случаев авторство определяют с помощью создания частотных словарей, представления текста в виде вектора, состоящего из вычисленных параметров, а также экспертных подходов [1].

Более формально проблема установления авторства может быть выражена следующим образом [2]: $P_A = f(U, T)$, где P_A – вероятность принадлежности текста автору, $f(U, T)$ – функция определения авторства, в которой A – множество кандидатов-авторов, T – набор текстов, авторство которых доподлинно известно, U – группа текстов, автора которых следует определить. Для каждого автора, включённого в список кандидатов $a \in A$, сопоставлен $t \subset T$ – набор текстов, авторство которых уже известно. Каждому тексту, включённому в группу документов с неизвестным автором U необходимо присвоить ровно один элемент – одного кандидата-автора из $a \in A$.

Анализ предметной области

Для создания собственного метода был проведён анализ существующих работ, посвящённых определению автора текста, как для русского, так и для иностранных языков, а также изучение статей, посвящённых аспектному анализу с целью его внедрения в решение задачи.

Авторами [3] были реализованы две системы: *isbister19* и *johansson19*. В качестве основы был использован классификатор SVM, к которому добавлены два набора стилеметрических характеристик. Функции объединены в один вектор признаков, преобразованный путем масштабирования каждого объекта по его максимальному абсолютному значению. Точность 82% у *isbister19*, 78% у *johansson19*.

В работе [4] предложен подход на основании комбинированного набора характеристик – лингвистических признаков, характеризующих письменную речь, и признаков, характеризующих возможности технических средств. Предложенный подход демонстрирует хороший результат для классификации в условиях малого объема обучающей выборки. Сравнение предложенных методов показало, что выбор наиболее информативных характеристик является определяющим фактором для получения высокого результата. Точность составляет 90,4%.

Суть аспектного анализа заключается в определении для текста аспектов и соответствующих им мнений. В большинстве случаев применяется для тонального анализа текстов [5], так как в отличие от более простых приёмов основан на понимании смысла текстов и извлечении ключевых слов в качестве аспектов. Некоторые исследователи применяют такой подход для определения тематики документа – аспекты позволяют не потерять контекст вокруг слова для проведения более глубокого анализа.

Корпус текстов

Корпус текстов для проведения данного исследования был составлен из текстов 7 авторов на русском языке (всего 203 текста). Он представляет собой ограниченную коллекцию текстов на русском языке различной тематики и длины, для которых автор доподлинно известен.

Аспектный анализ

В отношении определения авторства в качестве объекта в целом рассматривается текст, а в роли отдельных аспектов – множество слов или словосочетаний, выделенных на уровне предложений.

Как правило, при решении задачи аспектного анализа выделяют следующие подзадачи [6]:

- извлечение аспектных терминов;
- объединение аспектных терминов в аспектные категории (т.е. отнесение аспектного термина к соответствующему аспекту);

– классификация по отношению к аспектам.

Выделяют два подхода: статистический и лингвистический.

Статистический подход подразумевает извлечение значимых для данного текста аспектов и состоит из следующих этапов: выявление в тексте значимых слов, определение для них статистической характеристики и отбор слов, значение характеристики которых выше заданного порога.

Основная идея лингвистического подхода – учет синтаксической структуры предложения, поиск аспектов по шаблонам. Шаблоны не подходят для определения автора, так как нельзя заранее выделить их в полном объеме. Тексты посвящены различным темам в отличие от отзывов.

Было принято решение использовать комбинацию данных методов. Аспекты выделяются на уровне предложений, затем формируются в общий список. От статистического подхода взято то, что аспектами являются существительные и именные словосочетания, для которых производится отбор, от лингвистического – учёт синтаксической структуры с помощью Stanford NLP Dependency Parser, позволяющий получить отношения между словами.

Извлечение аспектов и соответствующих им мнений реализовано с помощью различных инструментов NLP, таких как StanfordNLP [7] и NLTK [8], модели Stanford Russian для извлечения зависимостей между словами. Например, для отрывка из текста В. Астафьева «Фронтовые дороги ведут в бесконечность и никогда не повторяются» выделяется аспект «разнообразия» и мнение «не способствует».

Количественные характеристики текста

Понятие идентификации автора определяется как процесс установления автора по множеству признаков текста, составляющих авторский стиль [9]. Для создания вектора признаков следует выделить определенные параметры [10]. Таким образом, основной задачей является установление особенностей авторского стиля, а также последующего сравнения данных особенностей с другими произведениями, авторство которых не установлено [11]. Для формирования списка характеристик была подсчитана частота встречаемости в тексте для таких характеристик, как части речи, униграммы, биграммы, триграммы, и сделаны следующие выводы:

- наиболее часто встречающиеся знаки пунктуации: «,», «-», «'», «?»;
- наиболее часто встречающиеся триграммы: «что», «про», «при»;
- наиболее часто встречающиеся части речи: имя существительное, глагол, имя прилагательное;
- чаще встречаются гласные буквы, чем согласные.

В итоге были выделены следующие характеристики:

- части речи;
- униграммы;
- триграммы;
- знаки пунктуации.

Обучающая и тестовая выборки

Для формирования обучающего и тестового наборов происходит объединение списков (которые являются либо пары аспект-мнение, либо вектор признаков с соответствующими им количественными характеристиками) в одну обучающую матрицу. Затем при последовательном выполнении описанных ниже шагов формируется тестовая:

- проход в цикле по индексам каждого списка;
- конвертация последовательности индексов в расширенную обучающую матрицу;
- создание матрицы правильных ответов для каждой строки обучающей матрицы;
- проверка работы функции на тестовых данных.

Архитектура и обучение нейронной сети

В данном случае использовалась нейронная сеть с прямой связью, которая в других работах также известна как многослойная сеть нейронов (Multi-layered Network of Neurons) [12], т.к. она может моделировать функцию практически любой степени сложности, причем число слоев и число элементов в каждом слое определяют сложность функции. Был использован последовательный тип модели [13].

Прямая связь выражена тем, что информация передается только вперед, через входные узлы, затем через скрытые слои (один или несколько) и, наконец, через выходные узлы. Каждый нейрон связан со всеми остальными нейронами, находящимися в соседних слоях, все связи направлены строго от входных нейронов к выходным. Такая сеть используется для решения задач классификации, прогнозирования.

Использовались входной, выходной и скрытый слои. На каждом слое используется функция «dense» для полного соединения слоев друг с другом. Входной слой на 30 нейронов с функцией активации «sigmoid» соединен со скрытым слоем. Использование «sigmoid» позволило увеличить долю верных ответов на проверочной выборке с 84% (получаемых при «softmax» [14]) до 95%. Применение метода исключения снижает вероятность переобучения.

График, демонстрирующий долю верных ответов при процессе обучения, представлен на рис. 1.

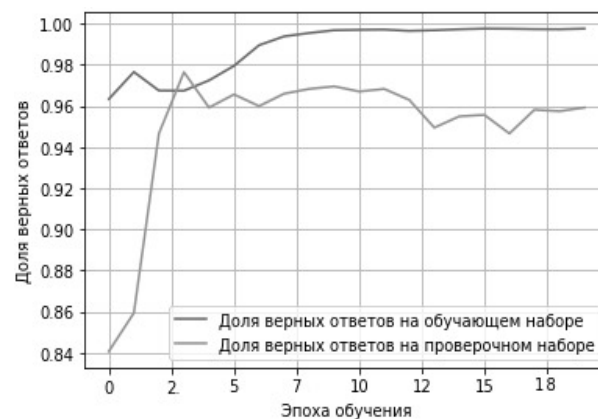


Рис. 1. Доля верных ответов

Результаты и выводы

Результаты, полученные на основе параметра, характеризующего долю уверенности в принадлежности текста истинному автору, описаны в таблице. В качестве доли уверенности отнесения текста конкретному классу выступает вектор, состоящий из M значений не меньше 0 и не более 1, где M – количество кандидатов-авторов. В таблице записывается значение, которое было сопоставлено истинному автору документа, соответственно, чем оно выше, тем точнее классификация. Сравнение результатов, полученных как с использованием аспектного анализа, так и без него, представлено ниже.

Результаты

Автор	Результат	
	Распределение частот	Аспектный анализ и распределение частот
Азольский	0,89	0,98
Булгаков	0,94	0,96
Быков	0,98	0,98
Дружников	0,81	0,97
Маринина	0,92	0,98
Паустовский	0,77	0,89
Стругацкие	0,72	0,78

Совместное использование распределения частот и аспектного анализа позволило улучшить средний результат по всем авторам (с 0,86 до 0,95). Однозначно распознаются авторы, обладающие необычным стилем письма, использующие редкие слова, а также те авторы, чьи тексты разделены на несколько томов, и для обучения был взят первый том, для проверки – второй. Планируется использование аспектного анализа не только на уровне предложений, но и на уровне всего текста, увеличение корпуса текстов и работа с текстами разного объема.

Заключение

Представлен метод определения автора текста с использованием аспектного анализа. В качестве признаков выбраны части речи, длина предложения, униграммы, триграммы, знаки пунктуации. Для корпуса текстов на русском языке, включающего в себя 7 авторов и 203 текста, получен результат 95% при совместном использовании аспектного анализа и признаков текста.

Литература

1. Батура Т.В. и др. Формальные методы определения авторства текстов // Новосибирский государственный университет. – 2012. – Т. 10, № 4. – С. 81–94.
2. Романов А.С. Методика идентификации автора текста на основе аппарата опорных векторов // Доклады ТУСУР. – 2009. – № 1-2 (19). – С. 36–41.
3. Johansson F., Isbister T. FOI Cross-Domain Authorship Attribution for Criminal Investigations. // CLEF 2019 Labs and Workshops, Notebook Papers. CEUR-WS.org. – 2019. – P. 1–9.
4. Воробьева А.А., Гвоздев А.В. Идентификация анонимных пользователей интернет-порталов на основании технических и лингвистических характеристик пользователя // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 1 (89). – С. 139–143.

5. Poria S., Cambria E., Gelbukh A. Aspect extraction for opinion mining with a deep convolutional neural network // Knowledge-Based Systems. – 2016. – Vol. 108. – P. 42–49.

6. Рой Д.А., Ефремова Н.Э. Методы извлечения аспектных терминов из мнений // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2018. – № 21. – С. 212–217.

7. Phand S.A., Phand J.A. Twitter sentiment classification using stanford NLP // Proceedings of the 2017 1st international conference on intelligent systems and information management (ICISIM). – 2017. – P. 1–5.

8. NLTK documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nltk.org> (дата обращения: 19.09.2020).

9. Резанова З.И., Романов А.С., Мещеряков Р.В. О выборе признаков текста, релевантных в автороведческой экспертной деятельности // Вестник Том. гос. ун-та. Филология. – 2013. – № 6 (26). – С. 38–52.

10. Романов А.С., Мещеряков Р.В. Идентификация автора текста с помощью аппарата опорных векторов // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: матер. ежегод. междунар. конф. «Диалог–2009». – М.: РГГУ, 2009. – № 8. – С. 432–437.

11. Romanov A., Kurtukova A., Fedotova A., Meshcheryakov R. Natural Text Anonymization Using Universal Transformer with a Self-attention // Proceedings of the III International Conference on Language Engineering and Applied Linguistics (PRLEAL–2019). – Saint Petersburg, Russia, November 27, 2019. – P. 22–37.

12. Falez P. et al. Multi-layered spiking neural network with target timestamp threshold adaptation and stdp // Proceedings of the 2019 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). – 2019. – P. 1–8.

13. The sequential class [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://keras.io/api/models/sequential> (дата обращения: 19.09.2020).

14. Henry G.G., Parks T. Neural network unit with shared activation function units: Patent No. 10387366 США. – 2019. – P. 1–7.

Федотова Анастасия Михайловна

Студентка каф. безопасности информационных систем (БИС) Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-923-444-41-25
Эл. почта: afedotowaa@icloud.com

Куртукова Анна Владимировна

Студентка каф. БИС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-905-991 6713
Эл. почта: av.kurtukova@gmail.com

Шаньшин Семён Евгеньевич

Студент каф. БИС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-999-619-23-68
Эл. почта: linglon1999@gmail.com

Романов Александр Сергеевич

Канд. техн. наук, доцент каф. БИС ТУСУР
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 41-34-26
Эл. почта: alex.romanov@gmail.com

УДК 004.056.5

С.З. Ахмад, В.М. Сафарян

Организация имитозащищенного обмена данными

Предлагается техническое решение по имитозащите пакетов данных, передаваемых между сетевыми устройствами. Данное решение позволяет существенно повысить уровень информационной безопасности без использования дорогостоящей криптографической защиты с полноценным шифрованием данных, тем самым максимально затрудняет кражу и подмену передаваемых данных злоумышленником.

Ключевые слова: имитозащита, имитовставка, пакет данных, псевдослучайная последовательность, защита информации, сетевые устройства, обмен данных.

Современные компьютерные системы предъявляют особые требования к обеспечению информационной безопасности. В первую очередь это связано с ростом технологий, используемых для кражи или подмены ценной информации. Таким образом, одной из актуальных задач, стоящих перед специалистами по защите информации, является организация имитозащищенного обмена данными, передаваемыми между устройствами, объединенными в единую сеть (например, Интернет вещей).

Целью настоящей статьи является обеспечение имитозащиты пакетов данных, передаваемых между сетевыми устройствами.

Для достижения поставленной цели предлагается решить задачу по разработке устройства, обеспечивающего защиту передаваемых пакетов данных путем внедрения в информационную часть сообщения имитовставок, полученных за счет применения псевдослучайной последовательности (ПСП) [1].

Предлагаемое техническое решение должно максимально затруднить злоумышленникам чтение и подмену информационной части сообщений, передаваемых между защищаемыми устройствами.

В качестве одного из примеров устройств имитозащиты рассмотрим патент RU 2310236 «Устройство для имитозащиты контролируемых объектов» [2]. Данное изобретение позволяет осуществить проверку подлинности контролируемых объектов за счет применения ПСП. В рассматриваемом устройстве выполняется имитозащита объекта путем периодического обмена с ним псевдослучайными значениями, порядок генерации которых известен только устройству контроля и защищаемого объекта. Однако оно имеет ряд недостатков:

- 1) устройство не проверяет информационную часть передаваемого пакета данных;
- 2) устройство предназначено для работы с одним абонентом.

Для устранения выявленных недостатков авторы статьи предлагают решение, в котором обмен данными между сетевыми устройствами осуществляется с помощью пакетов, структура которых рас-

крыта на рис. 1. Здесь для злоумышленника особый интерес представляет поле пакета, содержащего команду (блок данных), передаваемую от устройства управления к управляемому устройству. Злоумышленник заинтересован в чтении или подмене команды. Авторы статьи предлагают максимально затруднить эту операцию.

Рассмотрим устройство, представленное на рис. 2. В его состав входят главное устройство (ГУ) и произвольное количество управляемых устройств (УУ). Подобное построение сегодня встречается в вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой.

В состав ГУ и всех УУ входят генераторы ПСП с идентичными и хранящимися в секрете функциями генерации последовательности, настроенными на заводе-изготовителе. При отправке команды устройству управления ГУ генерирует очередное значение ПСП. Полученное значение накладывается на поля «блок данных» и «контрольная сумма данных» передаваемого пакета данных по правилу XOR (исключение ИЛИ), а в поле «№ пакета» заносится номер значения ПСП в последовательности.

Таким образом, отправляемые данные попадают в сеть в закодированном виде. Для восстановления этих данных управляемому устройству обязательно знать закон генерации ПСП и номер значения ПСП в последовательности, чтобы осуществить обратную операцию XOR и восстановить содержимое передаваемого сообщения.

Пакет данных, полученный УУ, проходит этапы проверки и декодирования информации. Удостоверившись в целостности переданного сообщения, управляемое устройство с помощью номера пакета генерирует значение ПСП, чтобы произвести обратную операцию XOR.

На следующем этапе проверяется контрольная сумма данных. В случае совпадения контрольной суммы команда выполняется, а в случае несовпадения полученный пакет отбраковывается, о чем уведомляется ГУ.

Преамбула	Идентификатор устройства получателя	Идентификатор устройства отправителя	Блок данных	Контрольная сумма данных	№ пакета	Контрольная сумма всего пакета
-----------	-------------------------------------	--------------------------------------	-------------	--------------------------	----------	--------------------------------

Рис. 1. Структура пакета данных

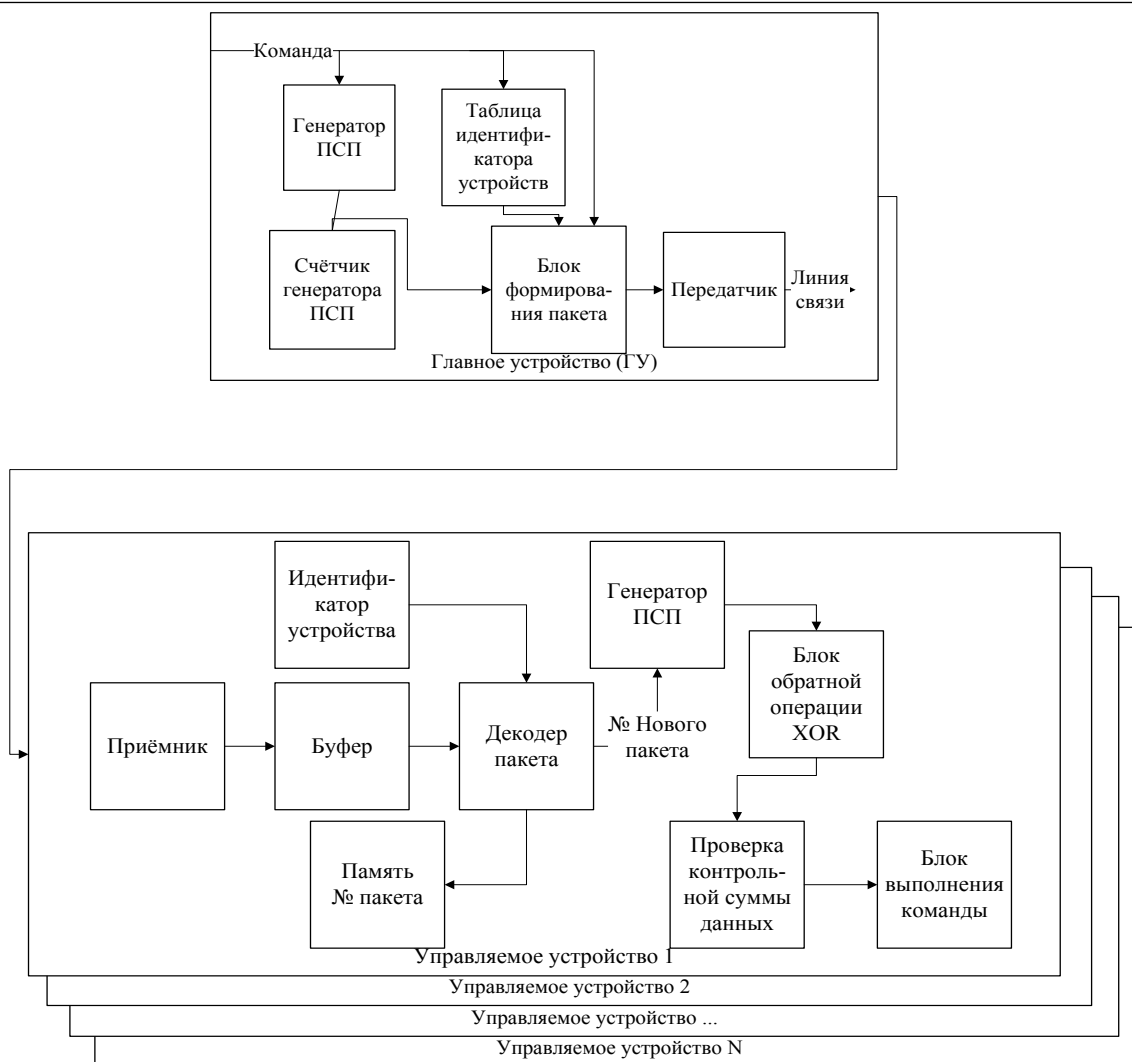


Рис. 2. Работа главного и управляемых устройств

Максимальная пропускная способность должна быть не ниже 18 Мбит/с при использовании канала шириной 4 МГц, а минимальная – составлять 150 Кбит/с при ширине канала в 1 МГц.

Существенным требованием к ПСП является требование использования вычислительных устройств малой мощности. Предпочтительно выбирать генераторы на основе блочных шифров, разработанных с кроссплатформенной совместимостью. Алгоритм AES отвечает этим требованиям в силу своей байт-ориентированной структуры.

Таким образом, предлагаемое авторами статьи техническое решение устраняет недостатки предыдущей версии устройства, описываемые в патенте RU 2310236 «Устройство для имитозащиты контролируемых объектов», и осуществляет дополнительную защиту путем внедрения в пакет данных имитовставки, полученной за счет использования генератора ПСП с функцией генерации, известной только отправителю и получателям пакета. Предложенное решение позволяет существенно повысить уровень информационной безопасности без использования дорогостоящей криптографической защиты с полноценным шифрованием данных.

Литература

1. Кнут Д.Э. Случайные числа: гл. 3. – Т. 2: Искусство программирования. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2000.
2. Устройство для имитозащиты контролируемых объектов. О.М. Лепешкин, Д.Л. Осипов, К.В. Савельев, А.П. Жук, А.В. Рожнов, Д.В. Снегирев. Пат. на изобрет. RU 2310236 С1, 10.11.2007. Заявка № 2006105288/11 от 17.02.2006.

Ахмад Самим Зиянович

Студент направления «Компьютерная безопасность»
Северо-Кавказского федерального университета (СКФУ)
Тел.: +7-918-867-02-33
Эл. почта: samim058@gmail.com

Сафарян Вадим Михайлович

Студент направления «Компьютерная безопасность»
СКФУ
Тел.: +7-928-057-92-37
Эл. почта: vadyusha.safaryan@mail.ru

УДК 004.85

Д.А. Андреевских, С.Д. Разбойников, К.С. Сарин

Сравнение применения локальных и глобальных признаков рукописной подписи для аутентификации пользователя

Проводится сравнение двух методов аутентификации пользователя на основе рукописной подписи. Первый основан на извлечении локальных признаков подписи как функций, зависящих от времени ее нанесения. Вторым извлекаются глобальные признаки подписи, характеризующие ее целиком без привязки к моментам нанесения. Для каждого из методов представлены алгоритмы аутентификации, проведены эксперименты на реальных рукописных подписях, полученных в ходе исследования.

Ключевые слова: рукописная подпись, аутентификация, машинное обучение, распознавание образов.

Поскольку в настоящее время электронные носители информации вытесняют бумажные, актуальной является проблема подтверждения личности в пространстве электронных документов. Для решения этой проблемы разработаны различные средства аутентификации пользователя, в том числе и с использованием динамических биометрических данных. Аутентификация по рукописной подписи является наиболее распространенным и проверенным временем методом подтверждения личности [1, 2]. Используемые при этом признаки подписи, снятой с помощью электронных планшетов, разделяют на две основных группы: локальные и глобальные [3].

К локальным признакам относятся те признаки, которые присущи подписи в определенные моменты времени. Иными словами, признаки, представимые в виде функции, зависящей от времени. В числе данных признаков выступают координаты X и Y , сила давления пера на экран планшета, скорость нанесения подписи и др.

К глобальным признакам относятся те признаки, которые характеризуют подпись как единое целое. В числе данных признаков можно выделить общее время подписи, количество подъемов пера во время подписи, количество изменения знака производной координат по времени, средние значения скорости ведения пера и др.

Целью настоящей работы является выявление группы признаков, с помощью которой проведение аутентификации пользователей было бы наиболее предпочтительным с точки зрения точности определения субъекта. Соответствующий круг задач заключается в необходимости изучить алгоритмы аутентификации на основе локальных и глобальных признаков, разработать и реализовать их в программной среде MatLab, после чего провести тестирование реализованных алгоритмов и оценить точность распознавания для каждого из алгоритмов.

Методика проведения экспериментов по снятию экземпляров подписи

Для проведения исследования нами была собрана база данных оригинальных и поддельных подписей по разработанной нами методике. Сигналы рукописных подписей снимались с помощью планшета Wacom STU-540, который фиксирует сигналы

координат X и Y , силу давления пера P с частотой 200 Гц.

За неделю до снятия первой порции показаний участников попросили придумать подпись и отработать ее до состояния автоматизма. В день снятия показаний каждой подписи были зафиксированы десять экземпляров, при этом велась видеофиксация процесса нанесения подписи. Спустя неделю участников вновь попросили нанести десять экземпляров придуманной ими подписи. На следующей неделе процедура повторялась. Затем из участников эксперимента было выбрано шесть фальсификаторов, которые за неделю по предоставленному изображению оригинальной подписи должны были научиться ее подделывать. Спустя неделю каждый фальсификатор вносил в базу пять экземпляров подделанной подписи. После фальсификаторам выдавалось видеоизображение процесса нанесения подписи. Через неделю снималось еще пять экземпляров поддельной подписи. Со следующей недели цикл повторялся.

Таким образом, для каждого пользователя в базе присутствуют 30 оригинальных экземпляров подписей, 30 квалифицированных подделок, полученных на основе изображения оригинальной подписи, 30 квалифицированных подделок на основе видеоизображения процесса нанесения.

Описание наборов данных

Файл с подписью имеет следующую структуру. В первых двух столбцах фиксируются координаты X и Y кончика пера, в третьем столбце фиксируется сила нажатия на экран планшета P , в четвертом – показатель наличия или отсутствия давления на экран планшета, в пятом – показатель расположения кончика пера планшете в границе экрана.

На рис. 1 продемонстрированы изображения трех подписей и соответствующие им сигналы в каждый отсчет времени t .

Применение локальных признаков

Алгоритм аутентификации с применением локальных признаков основан на алгоритме динамической трансформации временной шкалы – англ. dynamic time warping – (DTW).

Для аутентификации пользователя при помощи алгоритма DTW в MatLab были написаны несколько

вариантов программ, общий принцип действия которых можно описать следующим алгоритмом:

1. На основе базы с оригинальными подписями проверяемого пользователя сформировать подпись-эталон. Сигналы подписи-эталона вычислить как средние значения оригинальных подписей в каждый отчет времени.

2. Вычислить пороговые значения и границы погрешности.

3. Вычислить DTW-расстояние между проверяемой подписью и подписью-эталоном.

4. Провести проверку – укладывается ли вычисленное DTW-расстояние в границы пороговых значений. Если укладывается, то проверяемая подпись принадлежит пользователю, иначе проверяемая подпись – подделка.

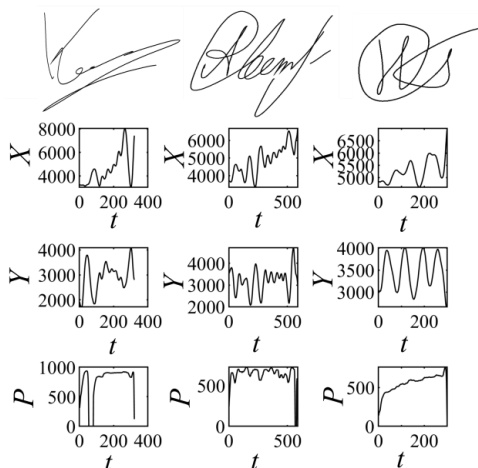


Рис. 1. Сигналы рукописной подписи

Для определения порогового значения предложены шесть эмпирических вариантов его вычисления. Варианты представлены ниже.

Вариант 1. Эталон состоит из значений координат X и Y и силы давления на экран планшета P . Пороговое значение – среднее значение DTW-расстояния от оригинальных подписей до эталона плюс тройное среднеквадратическое отклонение. Для каждого набора входных параметров проводится 20 тестовых запусков.

Вариант 2. Эталон состоит из значений координат X и Y и P . Пороговое значение – середина расстояния между максимальным DTW-расстоянием от оригинальных подписей до эталона и минимальным DTW-расстоянием от поддельных подписей до эталона. Для каждого набора входных параметров проводится 10 тестовых запусков, количество поданных подделок равно количеству подаваемых оригиналов.

Вариант 3. Эталон состоит из вычисленных значений абсолютной скорости (далее V) и абсолютного ускорения (далее A). Пороговое значение – среднее значение DTW-расстояние между оригинальными подписями и эталона плюс тройное среднеквадратическое отклонение. Для каждого набора входных параметров проводится 10 тестовых запусков.

Вариант 4. Эталон состоит из значений V , A . Пороговое значение – середина расстояния между

максимальным DTW-расстоянием от оригинальных подписей до эталона и минимальным DTW-расстоянием от подделки до эталона. Для каждого набора входных параметров проводится 10 тестовых запусков, количество поданных подделок равно количеству подаваемых оригиналов.

Вариант 5. Эталон состоит из значений координат X и Y , P , V , A . Пороговое значение – среднее значение DTW-расстояния от оригинальных подписей до эталона плюс тройное среднеквадратическое отклонение. Для каждого набора входных параметров проводится 10 тестовых запусков.

Вариант 6. Эталон состоит из значений координат X и Y , P , V , A . Пороговое значение – середина расстояния между максимальным DTW-расстоянием от оригинальной подписи до эталона и минимальным DTW-расстоянием от поддельной подписи до эталона. Для каждого набора входных параметров проводится 10 тестовых запусков, количество поданных подделок равно количеству подаваемых оригиналов.

На основе представленных вариантов нахождения порога были проведены эксперименты по аутентификации, сформирована таблица точности (табл. 1) и построен график зависимости точности от числа оригинальных подписей, необходимых для формирования подписи-эталона (рис. 2).

Таблица 1
Значения средней точности для локальных признаков

№ варианта	Количество оригинальных подписей				
	3	4	5	6	7
1	0,724	0,738	0,729	0,723	0,709
2	0,802	0,802	0,783	0,778	0,780
3	0,716	0,744	0,703	0,683	0,676
4	0,768	0,753	0,732	0,736	0,710
5	0,709	0,721	0,734	0,708	0,717
6	0,798	0,787	0,786	0,779	0,767

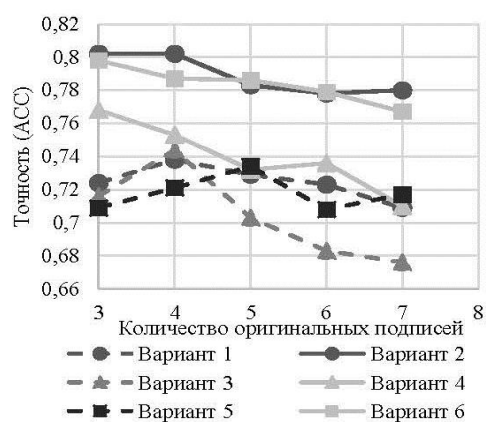


Рис. 2. Зависимость средней точности от количества оригинальных подписей

Анализ полученных результатов выявил, что наилучшей точности аутентификации алгоритм DTW достигает при подборе порогового значения в эксперименте 2, а именно, когда пороговое значение равно среднему значению между максимальным и минимальным DTW-расстояниями эталона и обуча-

ющих оригинальных подписей. Относительно входных данных было принято решение ограничить количество подаваемых оригинальных и поддельных подписей 4 экземплярами.

Применение глобальных признаков

Алгоритм аутентификации пользователя на основе глобальных признаков использует высокоуровневые признаки, вычисление которых представлено в [3]. В качестве инструмента принятия решения используются алгоритмы машинного обучения, а именно классификатор K -ближайших соседей (KNN), деревья решений (TW) и машина опорных векторов (SVM). В обучающих данных оригинальные и поддельные подписи помечаются разными метками и, по сути, проблема аутентификации сводится к проблеме бинарной классификации машинного обучения.

Шаги алгоритма аутентификации представлены ниже:

1. Провести извлечение глобальных признаков из обучающих и тестируемых подписей.

2. Сформировать модель машинного обучения на основе оригинальных и поддельных вариантов подписи пользователя.

3. Осуществить прогноз тестируемой подписи с помощью модели.

Для эксперимента были использованы база рукописных подписей, содержащая как оригинальные, так и поддельные подписи. Модели строились на различном количестве данных, а именно, количество оригинальных подписей варьировалось от 3 до 7, а количество поддельных – от 5 до 15.

По результатам экспериментов можно сделать следующий вывод. Наилучшие результаты показаны при 15 поддельных подписях. Сравнение точностей моделей представлено в табл. 2 и на рис. 3.

Таблица 2

Значения средней точности для глобальных признаков

Модель	Количество оригинальных подписей				
	3	4	5	6	7
KNN	0,640	0,644	0,644	0,638	0,643
TW	0,807	0,815	0,827	0,820	0,817
SVM	0,872	0,875	0,880	0,867	0,881

Проанализировав полученные данные экспериментов, выявлено, что алгоритм аутентификации пользователя с использованием модели SVM является наиболее точным.

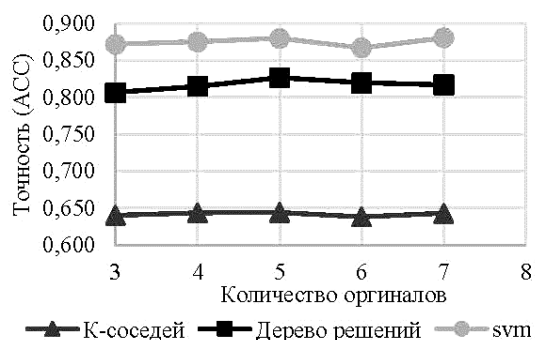


Рис. 3. Зависимость средней точности от количества оригинальных подписей

Сравнение алгоритмов аутентификации

Чтобы сравнить применение локальных и глобальных признаков, сравним результаты точностей алгоритма на основе DTW и алгоритма на основе SVM. Результаты значений точности проведенных экспериментов для каждого пользователя показаны в табл. 3 и на рис. 4.

Таблица 3

Сравнение точностей алгоритмов

№ пользователя	Алгоритм	
	DTW	SVM
1	0,780	0,874
2	0,812	0,898
3	0,596	0,84
4	0,646	0,806
5	0,718	0,832
6	0,972	0,95
7	0,656	0,794
8	0,994	0,896
9	0,906	0,928

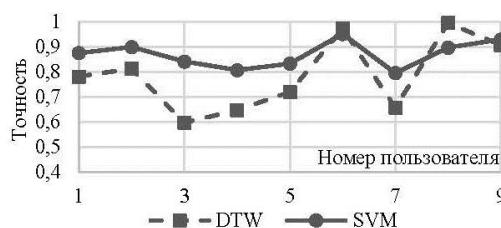


Рис. 4. График сравнения средней точности алгоритмов с глобальными и локальными признаками

Средняя точность аутентификации по всем пользователям для алгоритма, использующего глобальные признаки с моделью классификации SVM, оказалась выше и составила 0,869. Применение локальных признаков подписи в алгоритме на основе DTW позволило добиться точности 0,788.

Заключение

В результате проделанной работы проведено сравнение применимости локальных и глобальных признаков рукописных подписей для проблемы аутентификации пользователя. Признаки формировались на основе динамических сигналов подписи, снимаемых с поверхности графического планшета. Применение глобальных признаков в совокупности с моделями машинного обучения позволило получить более высокую точность аутентификации по сравнению с применением локальных признаков. Средняя точность в первом случае составила 0,869, во втором – 0,788.

Несмотря на более высокую точность алгоритмов с применением моделей машинного обучения, у них имеется один существенный недостаток. Для построения данных моделей в качестве обучающих данных необходимы экземпляры как оригинальных, так и поддельных подписей. Точность аутентификации данных моделей будет зависеть от качества подделок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках

научных проектов, выполняемых коллективами научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Министерству науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FEWM-2020-0042).

Литература

1. Ходашинский И.А. Аутентификация пользователя по динамике подписи на основе нечеткого классификатора / И.А. Ходашинский, Е.Ю. Костюченко, К.С. Сарин, А.Е. Анфилофьев, М.Б. Бардамова, С.С. Самсонов, И.В. Филимо-ненко // Компьютерная оптика. – 2018. – Т. 42, № 4. – С. 657–666.
2. Ходашинский И.А. Метод баггинга и отбор признаков в построении нечетких классификаторов для распознавания рукописной подписи / И.А. Ходашинский, К.С. Сарин // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 5. – С. 833–845.
3. Fierrez-Aguilar J. An On-line signature verification system based on fusion of local and global information / J. Fierrez-Aguilar, L. Nanni, J. Lopez-Penalba, J. Ortega-Garcia, D. Maltoni // Lecture Notes in Computer Science. – 2005. – Vol. 3546. – P. 523–532.

Андреевских Дарья Алексеевна

Студентка каф. комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-962-781-73-18
Эл. почта: andreevskih.dar@yandex.ru

Разбойников Сергей Дмитриевич

Студент каф. КИБЭВС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-923-608-22-08
Эл. почта: leodaf36@mail.ru

Сарин Константин Сергеевич

Канд. техн. наук, доцент каф. КИБЭВС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-29
Эл. почта: sks@security.tomsk.ru

УДК 004.056.5

А.С. Мельман, П.О. Петров, А.А. Шелупанов

Адаптивный алгоритм встраивания информации по методу QIM в сжатые JPEG-изображения

Предлагается новый алгоритм встраивания информации в JPEG-изображения на основе стеганографического метода QIM. Основной проблемой такого встраивания является уязвимость к статистическому стегоанализу. Для решения этой проблемы предлагается использовать переменный шаг квантования, который адаптивно выбирается для каждого блока изображения-контейнера. Результаты экспериментов показывают, что предложенный подход успешно повышает безопасность встраивания.

Ключевые слова: защита информации, стеганография, стегоанализ, цифровые изображения, JPEG.

Цифровая стеганография является одним из современных направлений информационной безопасности. Она решает ту же актуальную задачу, что и криптография, – обеспечение защищенной передачи информации. В отличие от криптографии, она не изменяет саму информацию, делая ее нечитаемой, а обеспечивает создание скрытого канала передачи данных путём их встраивания в цифровые объекты. В последние годы активно создаются и исследуются различные алгоритмы стеганографии [1, 2].

Значительная часть стеганографических алгоритмов работает с цифровыми изображениями, так как они имеют широкое распространение и позволяют без лишних подозрений передавать секретную информацию. Данное исследование также фокусируется на сокрытии информации в цифровых изображениях. В качестве контейнеров для секретных сообщений рассматриваются JPEG-изображения, поскольку большое количество изображений хранится и передаётся в сети именно в формате JPEG.

Стеганографическое встраивание должно быть незаметным, в том числе и для методов стегоанализа. Поэтому целью настоящей работы является разработка алгоритма сокрытия данных, обеспечивающего незаметность встраивания. В работе предлагается адаптивный алгоритм встраивания информации в сжатые JPEG-изображения, основанный на известном стеганографическом методе модуляции индекса квантования (QIM) и позволяющий снизить уязвимость встраивания к стегоанализу, в частности, анализу гистограмм.

Метод сжатия JPEG

JPEG является одним из наиболее популярных и широко распространённых методов сжатия изображений с потерями. Уменьшение размера файла происходит за счёт удаления из изображения некоторой части избыточной информации. Задаваемая пользователем степень сжатия определяет визуальное качество изображения после сжатия.

Основными этапами JPEG-сжатия являются преобразование цветового пространства изображения к виду YCbCr, «прореживание» каналов Cb и Cr, дискретное косинусное преобразование (ДКП), квантование и кодирование. С точки зрения стеганографического встраивания информации наибольший интерес представляют этапы ДКП и квантования.

ДКП является одним из наиболее распространённых частотных преобразований. Результатом применения ДКП к матрице интенсивностей значений пикселей изображения является матрица частотных коэффициентов того же размера. В стандарте JPEG данное преобразование применяется матрицами 8×8 . Коэффициент в левом верхнем углу называется DC-коэффициентом, остальные коэффициенты – AC-коэффициентами. Наиболее значимая информация содержится в низкочастотных (ближе к верхнему левому углу) коэффициентах. Средне- и высокочастотные (ближе к нижнему правому углу) коэффициенты менее важны для последующего восстановления изображения.

Непосредственно сжатие происходит на этапе квантования, когда каждый ДКП-коэффициент делится на некоторое заранее заданное значение, определяемое матрицей квантования, и округляется, в результате чего происходит необратимая потеря части информации.

Часть алгоритмов встраивания информации в JPEG-изображения предполагает встраивание в коэффициенты ДКП до квантования либо совмещают встраивание с процедурой квантования, например алгоритм [3]. Однако в большинстве случаев изменениям подвергаются уже квантованные AC-коэффициенты. В данной работе реализован именно этот подход.

Стеганографический метод QIM

Метод QIM [4] является одним из популярных методов встраивания информации в цифровые изображения. Его основная идея заключается в изменении элемента данных изображения (значения пикселя или частотного коэффициента) в зависимости от значения бита секретного сообщения. Изменяемое число делится на заранее определённый коэффициент, а затем округляется. Этот коэффициент называется шагом квантования q . Формула встраивания бита сообщения b_i при этом имеет вид

$$c' = q \cdot \left\lfloor \frac{c}{q} \right\rfloor + \frac{q}{2} \cdot b_i, \quad (1)$$

где c – коэффициент ДКП до встраивания, c' – коэффициент ДКП после встраивания, b_i – бит секретного сообщения, $\lfloor \dots \rfloor$ – операция взятия целой части от деления.

Извлечение выполняется по формуле

$$b'_i = \arg \min_{p \in [0,1]} |c'' - c'_p|, \quad (2)$$

где c'' – коэффициент ДКП, содержащий бит сообщения, $c'_0 = q \cdot \left\lfloor \frac{c''}{q} \right\rfloor$, $c'_1 = q \cdot \left\lfloor \frac{c''}{q} \right\rfloor + \frac{q}{2}$.

Эффективность встраивания в основном определяется величиной шага квантования. Чем больше значение q , тем больше устойчивость встраивания к различным искажениям стегоизображения, но вместе с тем больше и вероятность обнаружить наличие вложения с помощью стегоанализа, а иногда даже невооружённым глазом.

Адаптивный выбор шага квантования

Встраивание информации в JPEG-изображения по методу QIM вносит существенные искажения в естественную модель цифрового изображения в частотной области. В рамках настоящей работы в качестве такой модели используется гистограмма квантованных АС-коэффициентов изображения.

Для иллюстрации этого утверждения обратимся к рис. 1, на котором представлены примеры гистограмм до (рис. 1, а) и после (рис. 1, б) встраивания информации в JPEG-изображение. Очевидно, что данные гистограммы существенно отличаются. Гистограмма, представленная на рис. 1, б, содержит характерные «провалы», поскольку из-за применения формулы (1) частота возникновения значений АС-коэффициентов изменяется.

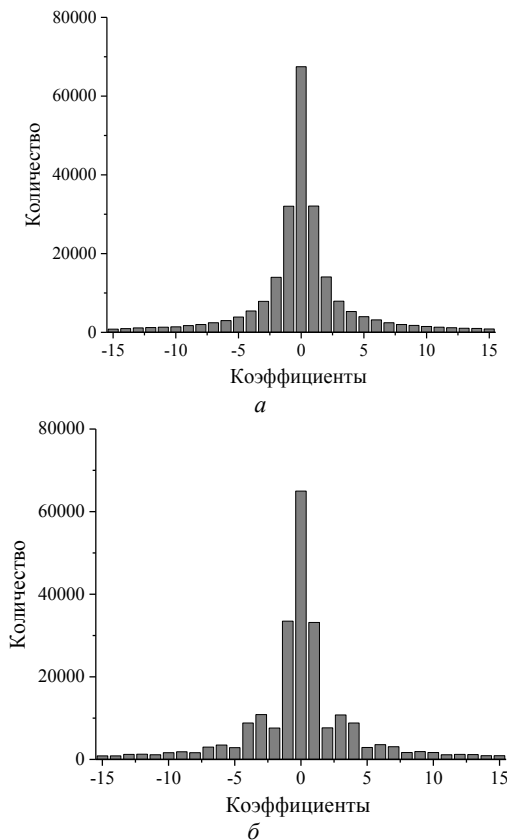


Рис. 1. Гистограммы АС-коэффициентов: а – до встраивания, б – после встраивания

Эта проблема является характерной для классического метода QIM. Эффективным способом решения данной проблемы является использование переменного шага квантования для каждого блока изображения. Например, в работе [3] подобный подход позволяет обеспечить статистическую незаметность встраивания. Однако недостатком является необходимость использования некоторой дополнительной информации при встраивании. В частности, в данном случае речь идёт о вспомогательных последовательностях для генерации шагов квантования. Передача такой информации отдельно от стегоизображения создаёт угрозу обнаружения вложения, поскольку она привлечёт внимание злоумышленника и проинформирует его о наличии скрытого канала передачи данных. Также в случае когда дополнительная информация уникальна для каждой пары контейнер-вложение, при каждом сеансе связи необходимо решать проблему её защиты, например шифрованием. В этом случае использование стеганографии становится нецелесообразным, поскольку удобнее применять шифрование к самому секретному сообщению.

Отметим, что передача ключевой информации, например параметров алгоритма, не представляет такой же серьёзной проблемы, поскольку выбирается единожды для группы собеседников.

В работе [5] одного из авторов настоящего исследования было предложено решение, лишённое данного недостатка. Для выбора шага квантования предлагалось использовать часть ДКП-коэффициентов блока, не использовавшихся для сокрытия сообщения (для несжатых изображений). Шаг квантования определяется как наименьший из наименее часто встречаемых коэффициентов по области невстраивания.

Область невстраивания – это диапазон коэффициентов, которые не изменяются при встраивании информации. Область встраивания – это диапазон коэффициентов, которые будут изменены. Встраивание в средне- и высокочастотные коэффициенты ДКП приводит к меньшим искажениям стегоизображения, поэтому именно они составляют область встраивания. Остальные АС-коэффициенты составляют область невстраивания. Пример области встраивания и невстраивания представлен на рис. 2.



Рис. 2. Области встраивания и невстраивания в блоке коэффициентов ДКП

В данной работе для выбора шага квантования для каждого блока JPEG-изображения также предлагается выбирать наименьшее значение квантованного AC-коэффициента по области невстраивания из самых редких. Это позволит перераспределить «провалы» на гистограмме и повысить безопасность встраивания. При этом выбор шага квантования по области невстраивания обладает двумя преимуществами. Во-первых, это делает встраивание адаптивным, т.е. учитывающим особенности конкретного контейнера. Во-вторых, это позволяет отказаться от передачи дополнительной информации, уникальной для каждого случая встраивания, которая служит демаскирующим вложением признаком.

Алгоритм встраивания информации

Таким образом, сформулируем основные этапы алгоритма встраивания информации в JPEG-изображения, реализующего описанный подход.

Вход алгоритма: изображение-контейнер в формате JPEG, секретное сообщение.

Выход алгоритма: стегоизображение.

Шаг 1: Восстановить квантованные коэффициенты ДКП из JPEG-изображения.

Шаг 2: Для каждого блока изображения-контейнера выполнять следующее:

Шаг 2.1: Определить значение шага квантования q по области невстраивания.

Шаг 2.2: Отделить от секретного сообщения фрагмент, равный количеству коэффициентов в области невстраивания.

Шаг 2.3: Встроить фрагмент сообщения в блок по формуле (1) с шагом квантования q .

Шаг 3: Осуществить кодирование коэффициентов и сформировать стегоизображение.

При извлечении информации биты сообщения извлекаются по формуле (2) из области встраивания после предварительного вычисления шага квантования q по области невстраивания. Поскольку область невстраивания не изменяется при сокрытии секретного сообщения, значение q при извлечении совпадает со значением q при встраивании, и встроенные данные извлекаются без каких-либо ошибок.

Вычислительные эксперименты

Для оценки эффективности разработанного алгоритма были выполнены вычислительные эксперименты. Для экспериментов использовались 10 изображений из базы USC-SIPI [6] с разрешениями 512×512 . Каждое изображение было сжато в JPEG-формат с качеством 95.

На рис. 3 представлен усреднённый по всей выборке изображений график зависимости показателя пикового отношения сигнала к шуму (PSNR), используемого для численной оценки визуального качества стегоизображений, от ёмкости встраивания. Стеганографическое встраивание считается незаметным для человеческого глаза, если величина PSNR составляет 30–35 дБ, предложенный алгоритм обеспечивает необходимый уровень качества. При этом достигается приемлемый уровень максимальной ёмкости около 50 000 битов.

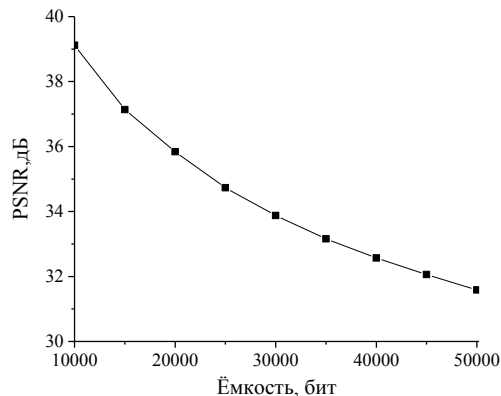


Рис. 3. Зависимость PSNR от ёмкости

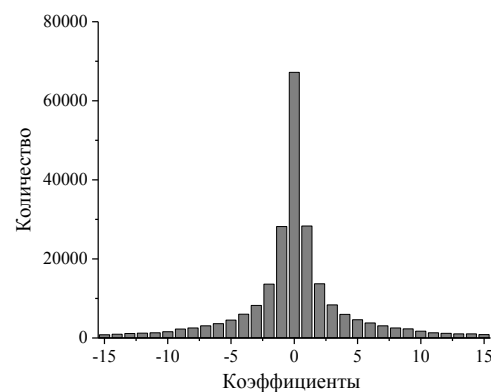


Рис. 4. Гистограмма AC-коэффициентов стегоизображения при переменном шаге квантования

На рис. 4 показано как выглядит гистограмма ДКП-коэффициентов стегоизображения после встраивания по описанному алгоритму. Сравнивая рис. 1, б и рис. 4, очевидно, что адаптивный выбор шага квантования позволил избежать существенных искажений гистограммы.

Заключение

В работе был предложен алгоритм стеганографического встраивания информации в сжатые JPEG-изображения, основанный на методе QIM. Отличительной особенностью предложенного алгоритма является адаптивный выбор шага квантования в зависимости от каждого конкретного изображения-контейнера. Результаты экспериментов показывают, что при хорошем соотношении ёмкости и качества предложенный алгоритм отличается повышенной устойчивостью к анализу гистограмм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2020–2022 гг. (проект № FEWM-2020-0037).

Литература

1. Image steganography in spatial domain: A survey / M. Hussain, A.W.A. Wahab, Y.I.B. Idris, A.T.S. Ho, K.-H. Jung // Signal Processing: Image Communication. – 2018. – Vol. 65. – P. 46–66.

2. Comprehensive survey of image steganography: Techniques, Evaluations, and trends in future research / I.J. Kadhim, P. Premaratne, P.J. Vial, B. Halloran // *Neurocomputing*. – 2019. – Vol. 335. – P. 299–326.

3. Noda H. Application of QIM with dead zone for histogram preserving JPEG steganography / H. Noda, M. Niimi, E. Kawaguchi // *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*. – Italy, Genova, 2005. – P. 1082–1085.

4. Митекин В.А. Алгоритмы встраивания информации на основе QIM, стойкие к статистической атаке / В.А. Митекин, В.А. Федосеев // *Компьютерная оптика*. – 2018. – Т. 42, № 1. – С. 118–127.

5. A new approach to reducing the distortion of the digital image natural model in the DCT domain when embedding information according to the QIM method / O.O. Evsutin, A.S. Melman, R.V. Meshcheryakov, A.O. Ishakova // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2019. – Vol. 2485. – P. 268–272.

6. The USC-SIPi image database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sipi.usc.edu/database/> (дата обращения: 17.08.2020).

Мельман Анна Сергеевна

Аспирант каф. безопасности информационных систем (БИС) Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0000-0001-6444-7774
Тел.: +7-923-434-11-18
Эл. почта: annakokurina94@yandex.ru

Петров Павел Олегович

Студент каф. комплексной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС) ТУСУРа Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-960-912-94-04
Эл. почта: 725_ppo@fb.tusur.ru

Шелупанов Александр Александрович

Д-р. техн. наук, профессор, зав. каф. КИБЭВС ТУСУРа Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0000-0003-2393-6701
Тел.: +7 (382-2) 90-71-55, внут. 1020
Эл. почта: saa@fb.tusur.ru

УДК 004.056

П.М. Шипулин, Н.В. Немков, А.Н. Шниперов

Группировка временных промежутков как способ повышения помехоустойчивости временной стеганосистемы

Рассмотрена ключевая проблема группы методов сетевой стеганографии, основанных на модификации структуры передачи сетевых пакетов по времени, – нестабильность и сложность предсказания естественной задержки при эксплуатации сетевой стеганосистемы в сети Интернет. Предложен метод минимизации влияния разброса естественной задержки на стеганосистему. Приведены результаты экспериментов.

Ключевые слова: стеганография, стеганосистема, скрытый информационный канал по времени, скрытая передача информации, сетевая стеганография, протокол потоковой передачи данных.

Одной из наиболее перспективных групп методов сетевой стеганографии является группа методов, скрывающая информацию посредством модификации структуры передачи пакетов в силу её высокой скрытности [1, 2]. При этом содержательная часть пакетов остается без изменения и основной коммуникационный канал не нарушается. Такие методы не изменяют данные в пакетах, однако вносят изменения в структуру передачи пакетов таким образом, чтобы «зашумление» основного канала передачи информации было минимальным. Для скрытой передачи могут использоваться временные задержки между пакетами [3, 4].

Потоковый стеганоконтейнер, используемый во временной стеганосистеме (covert timing channel – СТС), представляет собой последовательность сетевых пакетов (например, UDP [5]) и может быть представлен как $FC = \langle p_i \rangle$. На стороне приёмника регистрируются задержки между сетевыми пакетами: $D = \{d_i\}$, где d_i – это задержка между p_{i-1} и p_i пакетами: $p_{i-1}, p_i \in FC$. Чтобы поставить в соответствие временным задержкам информационные биты ($B = \{b_i\}$, где b_i – i -й информационный бит), используется (1).

$$Dec : D \rightarrow B : \begin{cases} d_i < threshold \Rightarrow b_i = 0, \\ d_i \geq threshold \Rightarrow b_i = 1. \end{cases} \quad (1)$$

При этом задержке, меньшей некоторого порогового значения $threshold$, ставится в соответствие нулевой бит, в противном случае – единичный [6].

Передача стеганосообщений в открытых компьютерных сетях

В ходе экспериментов по передаче стеганосообщений в открытых компьютерных сетях (сети Интернет) была обнаружена следующая особенность: наличие двух предельных точек на множестве задержек при потоковой передаче (рис. 1). Одна точка сгущения в районе 0 с, другая – 0,20 с.

Предположительно такая ситуация вызвана процессом буферизации сетевых пакетов на неизвестном числе сетевого оборудования, которое выступает посредником при передаче пакета в сети Интернет: количественные и качественные характеристики совокупности активного сетевого оборудования по маршруту произвольного пакета в сети Интернет крайне сложно анализировать для общего случая [7, 8].

Описанная ситуация негативно сказывается на процессе декодирования стеганосообщений, передаваемых по СТС [9].

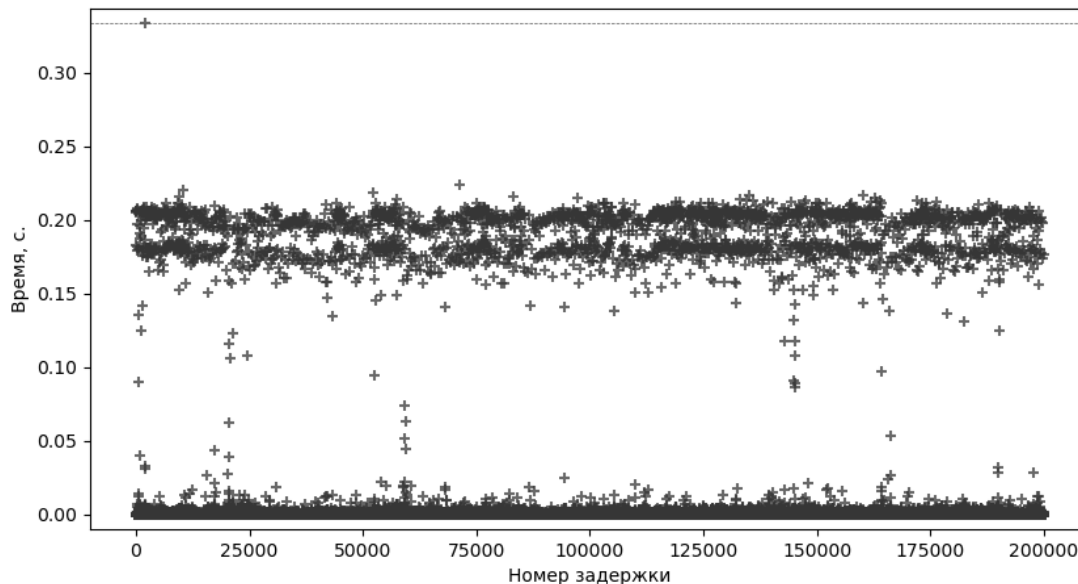


Рис. 1. Распределение временных задержек при $mtu = 250$

Предлагаемый метод

Для нивелирования данной особенности передачи трафика в открытых компьютерных сетях предлагается усреднять полученные задержки. Размер группы – n выбирается динамически для каждой конкретной передачи (возможно, уточняется в ходе одной длительной передачи). В этом случае (1) примет вид (2).

$$Dec : D \rightarrow B : \begin{cases} \sum_{j=0}^{n-1} d_j^i < threshold \Rightarrow b_i = 0, \\ \sum_{j=0}^{n-1} d_j^i \geq threshold \Rightarrow b_i = 1. \end{cases} \quad (2)$$

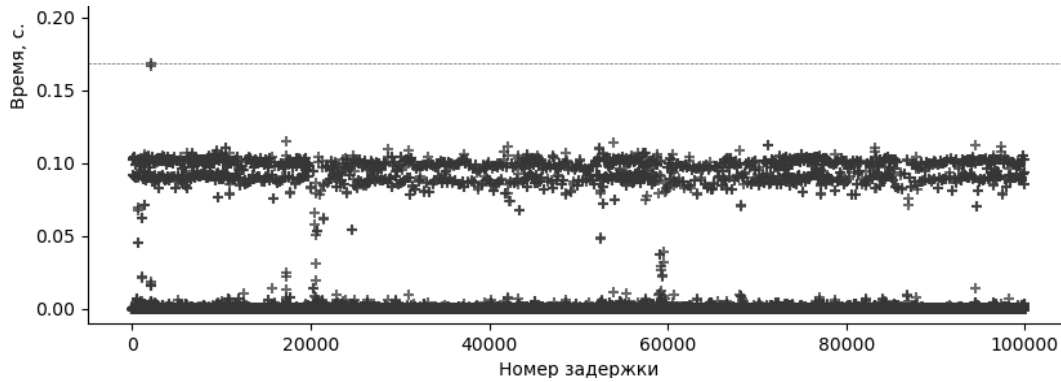


Рис. 2. Распределение временных задержек (группировка по 2)

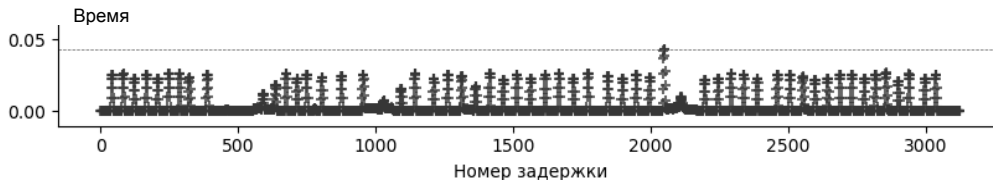


Рис. 3. Распределение временных задержек (группировка по 8)

Такой способ декодирования временных задержек уменьшит ширину стеганоканала в n раз (для передачи одного информационного бита используется n задержек) – это минус, но очевидным плюсом является сужение диапазона изменения детектируемой задержки в случае её усреднения (рис. 2, 3).

Изменение разницы между максимальной и минимальной задержками приведено для экспериментов с разным максимальным размером полезного блока (maximum transmission unit – MTU) в таблице и на рис. 4.

Как видно из результатов эксперимента, независимо от размера MTU наблюдается тенденция к уменьшению разницы между максимальной и минимальной задержками, детектируемыми на стороне приёмника стеганосистемы.

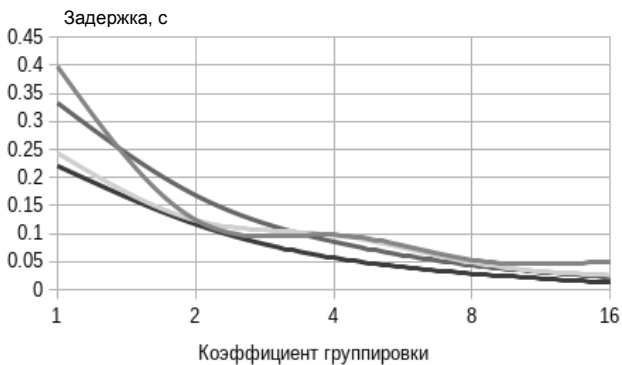


Рис. 4. Изменение диапазона задержки в зависимости от коэффициента группировки

Изменение диапазона задержки в зависимости от коэффициента группировки

MTU	Коэффициент группировки	Min задержка, с	Max задержка, с	Разность max – min
125	1	1,00E-06	0,22	0,22
	2	1,00E-06	0,12	0,12
	4	1,00E-06	0,06	0,06
	8	1,00E-06	0,03	0,03
	16	2,12E-05	0,01	0,01
256	1	1,00E-06	0,33	0,33
	2	1,00E-06	0,17	0,17
	4	1,00E-06	0,09	0,09
	8	1,38E-06	0,04	0,04
	16	2,92E-05	0,02	0,02
500	1	1,00E-06	0,24	0,24
	2	1,00E-06	0,12	0,12
	4	1,00E-06	0,1	0,1
	8	1,25E-06	0,05	0,05
	16	2,99E-05	0,03	0,03
1000	1	1,00E-06	0,4	0,4
	2	1,00E-06	0,12	0,12
	4	1,00E-06	0,1	0,1
	8	1,38E-06	0,05	0,05
	16	9,75E-06	0,05	0,05

Для проведения экспериментов производилась трансляция видеофильма по сети Интернет посредством программного продукта VLC, детектирование принятых пакетов и измерение задержек между ними производились программным модулем, написанным на языке Си, с использованием библиотеки Libscap [10, 11].

Выводы

Уменьшение диапазона задержки на стороне приёмника стеганосистемы позволит значительно уменьшить временную добавку ε , искусственно добавляемую передатчиком к естественной задержке в случае передачи единичного бита информации.

На стороне приёмника задержки имеют вид: $d_i = t_i + b_i \varepsilon$, где t_i – значение i -й естественной задержки в канале передачи. Предположительно применение данного метода позволит использовать временную добавку на стороне передатчика много меньше среднего значения естественной задержки (t_{middle}) в канале передачи $\varepsilon \ll t_{middle}$, что положительно скажется на помехоустойчивости системы.

Литература

1. Berk V., Cybenko G., Giani A. Detection of covert channel encoding in network packet delays // Department of Computer Science. Technical Report TR 2005-536. – Dartmouth College, 2005. – 11 p.
2. Houmansadr A., Borisov N., Filler T., Pevn T., Craver S., Ker A.D. Coco: Coding-based covert timing channels for network flows // Information Hiding. Lecture Notes in Computer Science. – Springer, 2011. – Vol. 6958. – P. 314–328.
3. Gianvecchio S., Wang H., Wijesekera D., Jajodia S. Model-Based Covert Timing Channels: Automated Modeling and Evasion // Recent Advances in Intrusion Detection. – Springer, 2008. – P. 211–230.
4. Houmansadr A., Mazurczyk W., Szczypiorski K., Wendzel S. Information Hiding in communication Networks: Fundamentals, Mechanisms, Applications, and Countermeasures. – Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2016. – 296 p.
5. Casner S., Frederick R., Jacobson V., Schulzrinne H. RFC 3550. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. – Network Working Group, 2003. – 25 p.
6. Cabuk S., Brodley C., Shields C. IP Covert Timing Channels: Design and Detection / Proceedings of the 11th ACM Conference on Computer and Communications Security // ACM. – New York, 2004. – P. 178–187.

7. Loder A., Ambühl L., Menendez M. et al. Understanding traffic capacity of urban networks. – Sci Rep. 9, 16283 (2019). – <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51539-5>

8. James F. Kurose, Keith W. Ross Computer Networking. A Top-Down Approach Featuring the Internet. – https://www.net.t-labs.tu-berlin.de/teaching/computer_networking/index.html

9. Шипулин П.М., Козин В.В., Шниперов А.Н. Метод организации скрытого канала передачи информации на основе протокола потоковой передачи данных // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18, № 5. – С. 834–842.

10. Pankaj Tanwar Capturing Packets in Your C Program, with libpcap // Open Source For You. – 2011. <https://opensourceforu.com/2011/02/capturing-packets-c-program-libpcap/>

11. Таненбаум Э. Архитектура компьютеров. – СПб.: Питер, 2007. – 848 с.

Шипулин Павел Михайлович

Аспирант каф. прикладной математики и компьютерной безопасности Сибирского федерального ун-та (СФУ)
Тел.: +7-913-041-22-18
Эл. почта: pshipulin@gmail.com

Немков Никита Викторович

Студент каф. прикладной математики и компьютерной безопасности СФУ
Тел.: +7-953-592-94-38
Эл. почта: nvnemkov@gmail.com

Шниперов Алексей Николаевич

Канд. техн. наук, доцент каф. прикладной математики и компьютерной безопасности СФУ
Тел.: +7-908-024-62-91
Эл. почта: ashniperv@sfu-kras.ru

УДК 004.056

Н.В. Немков, П.М. Шипулин, А.Н. Шниперов

Способ скрытой передачи данных по открытым каналам связи посредством манипуляций сетевым трафиком

Приводится способ организации скрытого канала передачи информации в сетевом трафике. Описана структура сетевой стеганосистемы. Приводятся результаты тестирования программного прототипа для передачи скрытых сообщений в сетевом трафике потоковой трансляции видео.

Ключевые слова: стеганография, стеганосистема, модуль ядра Linux, потоковая трансляция видео, сетевая стеганография, временные задержки.

В современном мире информация стала одним из основных видов товаров, которые имеют решающее значение в той или иной ситуации. Наиболее сильно данная тенденция прослеживается в коммерческой и военной сферах, так как наличие уникальных технологий производства товаров или военной техники дает большое преимущество перед конкурентами. Данное обстоятельство диктует потребность в разработке методов сокрытия информации от несанкционированного доступа не только посредством криптографических методов, но и стеганографических решений.

Одной из наиболее перспективных областей стеганографии является сетевая стеганография, которая использует особенности реализации сетевых протоколов для построения скрытых каналов связи. Большинство методов передачи скрытых сообщений базируется на модификации заголовков и/или полезной нагрузки сетевых пакетов, например в работах [1, 2]. Однако в условиях повсеместного внедрения систем глубокого анализа пакетов (DPI) наибольший интерес представляют методы модификации передачи сетевых пакетов [3] в силу своей большей скрытности.

В данной работе предлагается способ организации скрытого канала связи посредством модификации сетевого трафика. Также рассматриваются структура прототипа стеганосистемы, ее основные модули и результаты проведенного тестирования.

Описание стеганосистемы

Предлагаемая стеганосистема имеет структуру, показанную на рис. 1. Отправитель передает сообщение для отправки стеганокодеру – элементу системы, который осуществляет встраивание скрытого сообщения в сетевой трафик. На стороне получателя запускается стеганодетектор, который отслеживает факт передачи скрытого сообщения и сохраняет полученные данные. Стеганодекoder преобразует сохраненные данные в исходное сообщение.

Стеганосистема использует имеющийся трафик внутри операционной системы для передачи скрытых сообщений, поэтому отправитель и получатель должны предварительно согласовать, пакеты какого протокола и на каком порту будут использоваться для передачи.

Встраивание стеганосообщения, как и в работе [3], базируется на варьировании временных задер-

жек между отправляемыми сетевыми пакетами. Манипулирование задержками осуществляется по формуле (1):

$$t_i = \begin{cases} t_{nat}, & \text{если } b_i = 0; \\ t_{nat} + t_{delay}, & \text{если } b_i = 1, \end{cases} \quad (1)$$

где $i \in [0, +\infty)$, $j \in [0, len(message)]$, t_i – величина задержки между двумя сетевыми пакетами, t_{nat} – время, в течение которого осуществлялась передача пакета от отправителя к получателю (естественная задержка при прохождении маршрута), t_{delay} – искусственно вносимая задержка на стороне отправителя; b_i – значение бита передаваемого скрытого сообщения, $len(message)$ – длина скрытого сообщения в битах. Для передачи одного бита стеганосообщения используется цепочка фиксированной длины n , состоящая из отправляемых пакетов. Между пакетами в цепочке при передаче единичного бита вносится искусственная временная задержка, а при передаче нулевого – искусственного удержания пакетов не происходит. Таким образом, измеряя время между присылаемыми пакетами на стороне клиента и вычисляя среднее значение в цепочке, возможна скрытая передача информации в открытых каналах связи.

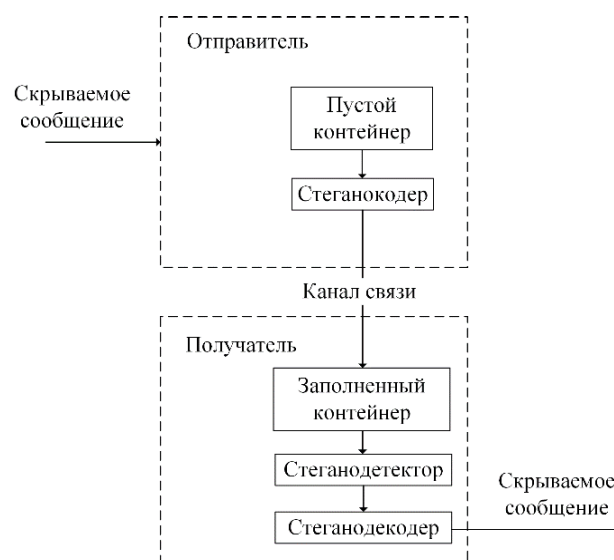


Рис. 1. Обобщенная структурная схема стеганосистемы

Описание модулей стеганосистемы

Ключевым компонентом разработанной стеганосистемы является стеганокодер, который непосредственно осуществляет встраивание скрытого сообщения в сетевой трафик. Стеганокодер написан на языке программирования Си и представляет собой модуль ядра Linux, что позволяет использовать в качестве стеганоконтейнера трафик любого протокола, инкапсулируемого в протокол IP (Internet Protocol), а также вносить достаточно большие временные задержки между отправляемыми пакетами. Структурная схема модуля представлена на рис. 2.

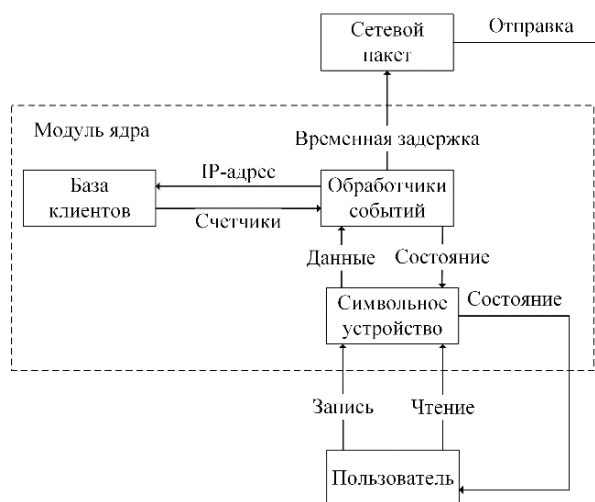


Рис. 2. Структурная схема стеганокодера

Стеганокодер обладает гибкостью в настройке благодаря следующим параметрам инициализации:

- INTERFACE – имя сетевого интерфейса, на котором будут контролироваться исходящие пакеты;
- PORT – номер порта, который прослушивает приложение, генерирующее сетевой трафик;
- PROTOCOL – номер протокола, инкапсулируемого в IP, в пакеты которого будет встраиваться сообщение;
- GNUM – количество пакетов в цепочке, отвечающей за передачу одного бита сообщения;
- REPEAT – количество повторений отправки сообщения приемнику;
- DELAY – величина вносимой задержки в миллисекундах;
- NCLIENTS – максимальное количество клиентов, которым будет отправлено сообщение.

Алгоритм работы стеганокодера представляет собой следующую последовательность действий:

Шаг 1. Инициализации модуля. На данном этапе создается символьное устройство /dev/stg, и происходит подмена системной функции обработки отправляемых сетевых пакетов `ndo_xmit` на функцию генерации искусственных временных задержек.

Шаг 2. Сообщение в байтовом представлении записывается в созданное символьное устройство. В этот же момент происходит обработка записанных данных модулем – данные помещаются во внутренний буфер и устанавливается флаг готовности к передаче сообщения.

Шаг 3. Каждый отправляемый сетевой пакет анализируется модулем на предмет совпадения номера протокола и номера порта. При совпадении данных параметров осуществляется поиск получателя пакета по IP-адресу в локальной базе абонентов стеганосистемы. В том случае если искомый адрес прежде отсутствовал в базе, происходит его добавление в базу и инициализация счетчиков сообщения.

Шаг 4. Для адресов получателей, которые уже имеются в базе абонентов стеганосистемы, с помощью счетчиков сообщения вычисляется смещение очередного бита для передачи. Если очередной бит сообщения равен единице, то происходит задержка отправляемого пакета на время, заданное в настройках модуля, иначе пакет отправляется без искусственной задержки.

Шаг 5. Операция чтения из символьного устройства возвращает статистику о каждом абоненте стеганосистемы. Статистика включает в себя: IP-адрес абонента; количество отправленных пакетов в цепочке; номер текущего передаваемого байта стеганосообщения; номер следующего передаваемого бита в байте стеганосообщения и число, показывающее, сколько раз сообщение было полностью передано циклически.

Шаг 6. Также модуль записывает сообщения обо всех событиях в системный журнал. Для удобства поиска сообщения имеют метки с указанием характера события: INIT – инициализация модуля; ERR – ошибка; MSG – статус передачи скрытого сообщения; READ – чтение из символьного устройства; EXIT – завершение работы модуля.

Таким образом, стеганокодер представляет собой универсальный и гибкий в настройке модуль ядра Linux. Его работа протестирована в системе CentOS 7 с ядром версии 5.1.12.

Для обнаружения встроенного сообщения в сетевом трафике применяется стеганодетектор, написанный на языке программирования Си с использованием библиотеки PCAP (Packet Capture). Данный модуль обрабатывает только TCP (Transmission Control Protocol) пакеты.

Работа стеганодетектора осуществляется по следующему алгоритму:

Шаг 1. При запуске стеганодетектор принимает на вход четыре аргумента командной строки: название сетевого интерфейса, с которого будет осуществляться перехват пакетов; номер порта, на который приходят пакеты со встроенным сообщением; путь до выходного файла, куда будут записываться значения временных задержек; примерное число задержек, которые необходимо измерить, чтобы декодировать полученное стеганосообщение.

Шаг 2. После запуска модуля происходит открытие выходного файла, выделение памяти под измеренные задержки, настройка сетевого интерфейса, формирование фильтра захвата пакетов и инициализация функции перехвата трафика.

Шаг 3. Далее происходит перехват всех входящих сетевых пакетов, измерение и запись временных задержек между пакетами, которые удовлетво-

ряют фильтру захвата. Измерение временных задержек реализовано с помощью функции `clock_gettime` из заголовочного файла `time.h` стандартной библиотеки языка Си.

Шаг 4. Работа модуля ведется до тех пор, пока пользователь не отправит операционной системе сигнал SIGINT с помощью сочетания клавиш Ctrl+C.

Шаг 5. Во время завершения работы модуль запишет полученные задержки в выходной файл.

Перевод измеренных задержек в конечное сообщение осуществляет стеганодекoder – модуль, написанный на языке Python. В качестве входных параметров декодер принимает: путь до файла с измеренными задержками; пороговое значение задержки, означающее передачу единичного бита стеганосообщения; количество задержек, отвечающих за передачу одного бита скрытого сообщения. Первоначально все задержки разбиваются на группы в количестве, указанном при запуске модуля. Затем в каждой группе вычисляется средняя величина задержки. В зависимости от данной величины и порогового значения задержки происходит формирование полученного сообщения в битовом представлении. Биты сообщения группируются в байты и выводятся на экран. Также производится вычисление величины BER (Bit Error Rate).

Экспериментальная часть

Тестирование системы производилось в сетевой конфигурации точка-точка. В качестве стеганокодекера был выбран протокол НТТР (NuregText Transfer Protocol), так как данный протокол является наиболее популярным и наименее подвержен межсетевому экранированию. Для генерации требуемого трафика применялась потоковая трансляция видео как наиболее наглядный пример незаметности работы стеганосистемы. Видеотрансляция велась при помощи мультимедиа плеера VLC. В ходе испытаний было установлено, что максимально допустимой временной задержкой, которая не препятствует просмотру видеоролика на стороне получателя, является задержка в 300 миллисекунд. Данные посылались получателю с разным значением параметра GNU, задающего количество пакетов в цепочке, отвечающей за передачу одного бита сообщения. Также в конце каждой передачи вычислялось значение метрики BER посредством сравнения получаемых значений битов сообщения с эталонными. Результаты испытаний представлены на рис. 3.

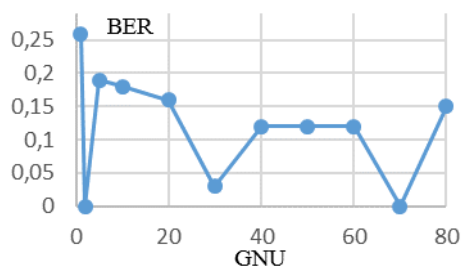


Рис. 3. Зависимость значения BER от количества пакетов в цепочке

При передаче сообщения со значением параметра GNU, равным единице, наблюдается более четверти неправильно интерпретированных бит сообщения стеганодекoderом. В то же время при значении GNU 2 и 70 сообщение передается без ошибок.

Также было замечено, что частые временные задержки на стороне отправителя порождают большие нагрузки на центральный процессор, нередко достигающие 100%.

Выводы

Таким образом, в данной работе предлагается концепт метода передачи скрытого сообщения путем внесения искусственных временных задержек в исходящий сетевой трафик. Описаны структура и основные модули соответствующей стеганосистемы. Посредством разработанного программного прототипа стеганосистемы проведены предварительные испытания прототипа в условиях прямого соединения двух компьютеров.

Результаты исследования показали, что, несмотря на потенциальную работоспособность, стеганосистема требует доработки, так как возникают ошибки при передаче сообщения в реальном сетевом трафике. В частности, необходимо реализовать предварительную обработку посылаемого сообщения и внедрить механизм помехоустойчивого кодирования, например на основе турбокодов, так как они представляют класс высокоэффективных помехоустойчивых кодов с коррекцией ошибок.

Литература

1. Рубан И.В. Метод стеганографической передачи данных в информационно-телекоммуникационных сетях на основе генерации ISN TCP-соединений / И.В. Рубан, А.А. Смирнов // Системы обработки информации. – 2015. – В. 9. – С. 99–101.
2. Галушка В.В. Стеганография на основе ICMP-инкапсуляции / В.В. Галушка, С.Б. Петренкова, Я.В. Дзюба, В.А. Панченко // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4.
3. Шипулин П.М. О возможности организации скрытых временных каналов для защиты информации в открытых компьютерных сетях / П.М. Шипулин, А.Н. Шниперов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18, № 5. – С. 834–842.
4. Рязанова Н.Ю. Метод перехвата исходящих и входящих сетевых пакетов / Н.Ю. Рязанова, Б.И. Рязанцев, М.В. Филиппов // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2017. – № 12. – С. 45–56.
5. Цилорик О.И. Практикум: модули ядра Linux. – 2015.

Немков Никита Викторович

Студент каф. прикладной математики и компьютерной безопасности (ПМКБ) Сибирского федерального университета (СФУ)
Тел.: +7-953-592-94-38
Эл. почта: nvnemkov@gmail.com

Шипулин Павел Михайлович

Аспирант каф. ПМКБ СФУ
Тел.: +7-913-041-22-18
Эл. почта: pshipulin@gmail.com

Шниперов Алексей Николаевич

Доцент каф. ПМКБ СФУ
Тел.: +7 (391-2) 07-26-43
Эл. почта: ashniperov@sfu-kras.ru

УДК 621.396.41

М.М. Немирович-Данченко

Применение метода Пронь для анализа биометрических данных

Рассмотрена обработка числовых рядов с применением методологии спектрального оценивания. В основе методологии лежит преобразование Пронь, позволяющее представлять исходный числовой ряд в виде нового ряда – некоторой линейной комбинации экспоненциальных функций. Приведены основные понятия и соотношения преобразования Пронь, анализируется поведение отдельных компонент преобразования для типичных случаев. Проанализированы особенности метода Пронь. Показаны отдельные этапы работы алгоритма, проблемы конкретной реализации. Методом Пронь были обработаны записи электроэнцефалограмм операторов при мысленном представлении ими движений. Это позволяет предполагать возможности использования изложенной методологии при выявлении ЭЭГ-коррелятов моторного воображения в пространстве корней полиномов.

Ключевые слова: временные ряды, моделирование, преобразование Пронь, прогноз, спектральное оценивание, обработка ЭЭГ.

Долгое время традиционно биометрическими данными считались такие физические характеристики, как, например, образцы голоса, образцы почерка (динамические характеристики), рисунок вен руки, отпечатки роговицы глаза (статические характеристики). Но уже с начала столетия в этой связи стали также активно изучаться инструментальные биомедицинские сигналы, такие как электроэнцефалограмма (ЭЭГ) [1] и электрокардиограмма (ЭКГ) [2].

Обработка биомедицинских сигналов в значительной степени базируется на применении спектрального анализа [3]. Методология спектрального оценивания вообще возникла несколько столетий назад, подробный обзор см., например, в [4].

В настоящее время дискретное преобразование Фурье (ДПФ) широко используется благодаря алгоритму быстрого преобразования Фурье, значительно ускоряющему процесс обработки данных. Несмотря на это, ДПФ обладает рядом недостатков, что стимулирует поиски новых подходов и методов в обработке временных сигналов [5]. В последнее время появились работы, в которых спектральное оценивание сигналов основывается на методе Пронь [6].

Так, авторы [7], модифицировав метод наименьших квадратов Пронь для частотной области, применили полученный алгоритм для обработки коротких временных рядов с записями музыки и речи. В работе [8] проводится аппроксимация записей ЭЭГ методом Пронь, показана возможность выявления различий в поле полюсов характеристического полинома для здоровых людей и больных эпилепсией.

В настоящей работе с использованием преобразования Пронь строится модель временного ряда, она опробуется на тестовых последовательностях и используется для анализа записей ЭЭГ.

Метод Пронь

Кратко суть метода в следующем. Пусть имеется $n-1$ значений временного ряда $x(i)$, число n лежит в некотором диапазоне наблюдаемых данных $1 \leq n \leq N$ во временном интервале T . Тогда значение $x(n)$ можно спрогнозировать следующей суммой из p слагаемых (эту сумму еще называют p -членной моделью комплексных экспонент [4]):

$$x(n) = \sum_{k=1}^p h_k z_k^{(n-1)}, \quad (1)$$

где множители h_k и z_k в общем случае комплексны и определяются выражениями

$$h_k = A_k \exp(j\theta_k), \quad z_k = \exp[(\alpha_k + j2\pi f_k)]. \quad (2)$$

Обозначения в (2) общеприняты: A , θ , α , f – это амплитуда, фаза (в радианах), затухание (в с^{-1}) и частота (Гц) k -го слагаемого соответственно.

Для рядов из действительных чисел формула (2) для каждой комплексной экспоненты будет содержать её комплексно-сопряжённую пару и ряд (1) примет вид

$$x(n) = \sum_{k=1}^{p/2} 2A_k \exp[\theta_k(n-1)T] \cos[2\pi f_k(n-1)T + \theta_k]. \quad (3)$$

Здесь важно подчеркнуть усечённый характер ряда в формуле (3) по сравнению с рядом (2) – членов ряда стало в два раза меньше ($p/2$ вместо p) именно в силу комплексной сопряженности слагаемых.

Обработка модельных данных

Следуя [4], рассмотрим аналитически заданный временной ряд

$$s_1 = -0,1 + 0,52(2\pi i), \quad s_2 = -0,2 + 0,42(2\pi i), \quad (4)$$

$$x[n] = \exp(s_1 n) + \exp(s_2 n) + w[n], \quad n = 0, \dots, 24.$$

Здесь w – это комплексный аддитивный белый гауссовский шум. Для отношения сигнал/шум 20 дБ несколько сгенерированных записей приведены на рис. 1.

На примере ряда (4) рассмотрим последовательность применения метода Пронь.

Для оценки заданных значений $x(n)$ в соответствии с (1) необходимо вычислить ошибки оценивания

$$\varepsilon(n) = x(n) - \sum_{k=1}^p h_k z_k^{(n-1)},$$

а затем минимизировать сумму квадратов ошибок по параметрам h_k , параметрам z_k и порядку оценивания p . Эта задача даже для заданного p является существенно нелинейной [4]. Трудности, встреченные при минимизации

ции суммы квадратов ошибок, привели к разработке субоптимальных процедур оптимизации, получивших название метод Пронь, или метод наименьших квадратов Пронь.

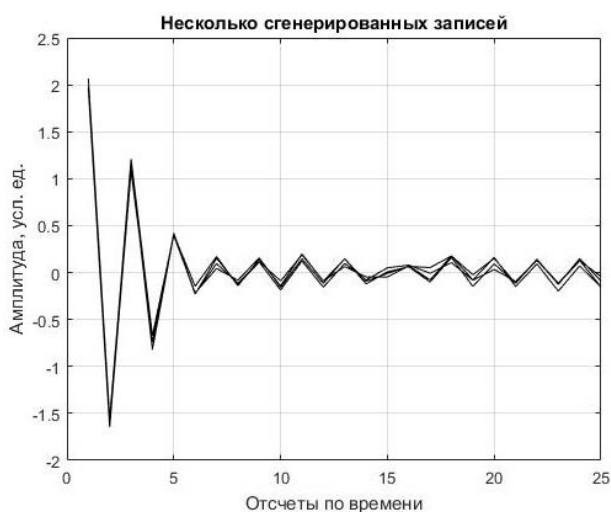


Рис. 1. Синтетические записи с отношением сигнал/шум 20 дБ

Уравнение (1), записанное в матричной форме, само является решением некоторого линейного разностного уравнения с постоянными коэффициентами. Полином, ассоциированный с линейным разностным уравнением, называется характеристическим полиномом. Таким образом, на первом этапе получается решение для коэффициентов полинома, на втором этапе находятся корни характеристического полинома. Уже эти корни позволяют определить коэффициент затухания и частоту синусоиды (2), затем эти же корни используются для нахождения комплексных параметров h_k .

Итак, **комплексные корни характеристического полинома, нахождение которых является частью общего алгоритма Пронь, полностью определяют характер анализируемых данных.**

На рис. 2 и 3 приводятся результаты применения процедуры Пронь к данным (4), параметр оценивания $p = 3$. Часть корней полиномов для коротких отрезков данных может описывать незатухающие синусоиды, поэтому для удобства на графиках показаны единичные окружности. Квазигармонические компоненты определяются корнями, попадающими в любой из квадрантов внутри окружности, оси абсцисс соответствуют экспоненциальные слагаемые.

Сравнение рис. 2 и 3 показывает следующее.

Корень s_2 , соответствующий второму слагаемому в (4) (на рис. 2 и 3 перекрестие во втором квадранте), имеет больший, чем корень s_1 , коэффициент затухания, что приводит к большему смещению оценок членов, характеризующих затухание и частоту, что соответствует результатам [4]. Нужно еще отметить очевидное повышение точности определения основного тона сигнала (4) с уменьшением доли шума.

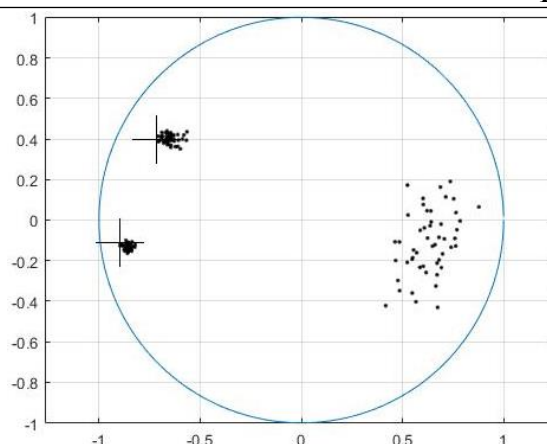


Рис. 2. Пространство нулей характеристического полинома при отношении сигнал/помеха 20 дБ, точные значения корней показаны перекрестиями

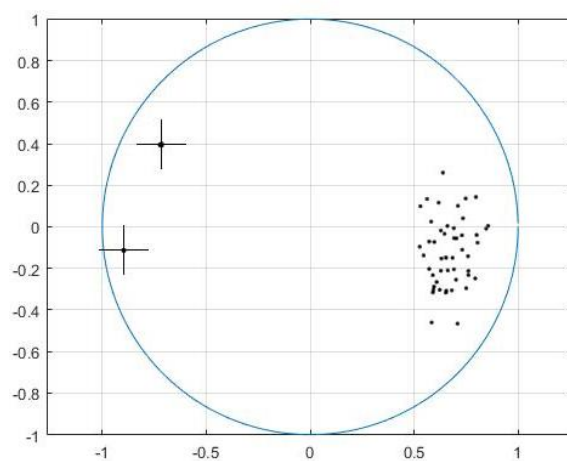


Рис. 3. То же, что и на рис. 2, но для отношения сигнал/помеха 40 дБ

Одной из характерных черт метода Пронь является отсутствие строгого набора частот для данного набора дискретов. Можно говорить о полосе пропускания – диапазоне частот в Гц, соответствующем данному номеру гармоники. При этом сама процедура оценивания позволяет вычислять точные значения спектров с шагом по частоте, не зависящем от числа наблюдений. Это делает метод Пронь удобным при обработке даже небольших выборок данных.

Обработка данных биометрии методом Пронь

Для работы с биомедицинскими данными была использована находящаяся в открытом доступе база данных кафедры высшей нервной деятельности МГУ им. Ломоносова [9]. Были выбраны записи ЭЭГ двух испытуемых при мысленном представлении ими движений: пальцы левой и правой рук, а также контрольные записи, которые проводились в спокойном состоянии. Схема расположения электродов – 10–20% с дополнительными электродами. Были выбраны записи для электрода F7 – левая лобно-височная область.

Из всей записи (около 5 с с шагом 0,002 с) был взят участок со 2-й с по 3-ю с (500 точек). Скользящее окно обработки – 50 отсчетов, порядок оценивания $p = 3$. На рис. 4 приведен результат обработки

записи ЭЭГ оператора в спокойном состоянии, а на рис. 5 – записи при мысленном представлении движения правой рукой.

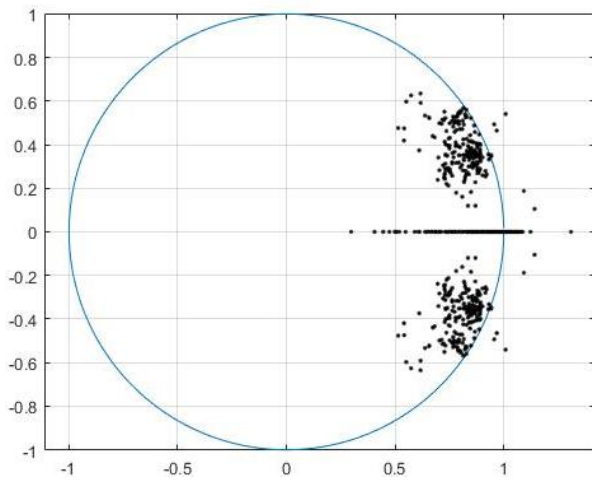


Рис. 4. Поле нулей характеристического полинома для ЭЭГ в состоянии покоя, порядок оценивания 3, скользящее окно 50 точек

На рисунках приведены комплексные корни характеристических многочленов, для наглядности они показаны вместе с единичной окружностью. Корни, попадающие, как на рис. 5, внутрь окружности, обеспечивают затухание членов ряда Пронь [4]. Возможность анализа биомедицинских записей по расположению нулей полиномов обсуждается также в [3].

Важную роль в методе Пронь играет порядок оценивания p . При неверном выборе порядка значительная часть корней может оказаться вне единичной окружности, что ухудшает аппроксимацию ряда. Значения комплексно-сопряженных корней, как уже отмечалось, полностью определяют все слагаемые ряда (1), и для каждого положения скользящего окна эти значения будут отличаться от остальных. Набор гармоник при фиксированном размере окна, как и в случае ДПФ, будет соответствовать интервал частот. Эта особенность метода Пронь и позволяет, в отличие от метода Фурье, точно определять спектральные составляющие сигналов.

Порядок оценивания здесь $p = 3$ обусловил наличие корней на оси абсцисс для тех слагаемых ряда (3), которые будут содержать чистую экспоненту, затухающую для корня внутри окружности и возрастающую для корня вне окружности. Из рисунков видно, что ЭЭГ с виртуальным движением (рис. 5) сопровождается более монохромной записью, нежели значительно более широкополосный сигнал, снятый в состоянии покоя (см. рис. 4).

Сравнение результатов обработки позволяет утверждать, что метод Пронь может быть использован для выделения признаков мысленных коррелятов в ЭЭГ. Это может иметь существенное значение как в диагностических целях, так и при развитии методов аутентификации по биометрическим данным.

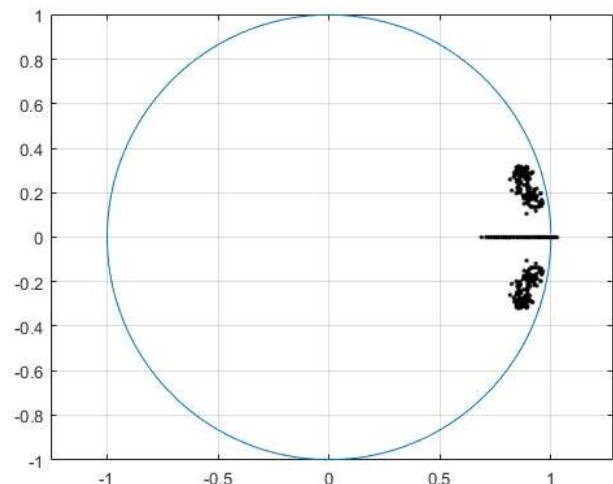


Рис. 5. Поле нулей характеристического полинома для ЭЭГ при мысленном движении правой рукой, порядок оценивания 3, скользящее окно 50 точек

Все результаты данной работы рассчитаны по авторским программам, реализованным на языке GNU Fortran в соответствии с алгоритмами из [4, 10].

Выводы

В статье приведены результаты вычисления преобразования Пронь для модельных и биометрических данных. В качестве модельных синтетических данных были взяты сгенерированные затухающие синусоиды с аддитивным шумом, для которых проводится сравнение с опубликованными ранее результатами. Биометрические данные (записи ЭЭГ) были взяты с сайта кафедры высшей нервной деятельности МГУ. Из всей базы сигналов ЭЭГ были выбраны записи для коррелятов мысленных движений. Рассмотрены особенности оконной обработки записей ЭЭГ с формированием поля нулей характеристического полинома метода наименьших квадратов Пронь. Сравнение поля нулей для записи ЭЭГ оператора в состоянии покоя и оператора при виртуальном движении позволило выявить возможности методологии Пронь для выделения признаков из записей ЭЭГ. Эти признаки можно рассматривать как паттерны (корреляты) мысленных движений человека.

Литература

1. Marcel S., Millan J.D.R. Person Authentication Using Brainwaves (EEG) and Maximum A Posteriori Model Adaptation // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – April 2007. – Vol. 29, No. 4. – P. 743–752. doi: 10.1109/TPAMI.2007.1012.
2. Bie, L., Pettersson O., Philipson L., Wide P. ECG Analysis: A New Approach in Human Identification // IEEE Trans. Instrumentation Measurement. – 2001. – Vol. 50. – P. 808–812.
3. Rangayyan R.M. Biomedical signal analysis: A case-study approach // IEEE Press Series in Biomedical Engineering. – 2002.
4. Marple S. Digital Spectral Analysis with Applications. – Prentice Hall, Englewood Cliffs (NJ), 1987.
5. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets. – SIAM, Jun 1, 1992. – Science. – 376 p.

6. Prony R. Essai expérimental et analytique: Sur les lois de la Dilatabilité des fluides élastiques et sur celles de la Force expansive de la vapeur de l'eau et de la vapeur de l'alkool, à différentes températures // J. l'Ecole Polytechnique. – 3(1795). – Vol. 1, cahier 22. – P. 24–79.
7. Ando S. Frequency-Domain Prony Method for Auto-regressive Model Identification and Sinusoidal Parameter Estimation // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2020. – Vol. 68. – P. 3461–3470. doi: 10.1109/TSP.2020.2998929
8. Elsayed O.A., Eldeib A., Elhefnawi F.M. Modeling of Epilepsy EEG Signal using Prony's Method // International Journal of Simulation-Systems, Science & Technology. – 2012. – Vol. 13, No. 6.
9. <https://www.neurobiology.ru/doc/index.php?ID=78>
10. Marple S. Spectral line analysis via a fast Prony algorithm / ICASSP '82. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – Paris, France, 1982. – P. 1375–1378. doi: 10.1109/ICASSP.1982.1171448

Немирович-Данченко Михаил Михайлович

Д-р физ.-мат. наук, профессор каф. КИБЭВС ТУСУРа

Ленина пр., д. 40, г. Томск, Россия, 634050

Тел.: +7 (382-2) 70-15-29

ORCID: 0000-0002-4510-8045

Эл. почта: michnd@mail.ru

УДК 004.056.53

В.С. Агеева, А.К. Новохрестов, М.А. Холодова

Угрозы, направленные на информационную систему в физической среде и киберпространстве

Рассмотрены модели информационной системы. За основу модели информационной системы был взят метаграф вложенности n , также были описаны угрозы конфиденциальности и целостности системы для данной модели и каналов ОС (операционная система), ПО (программное обеспечение) и ЛВС (локально-вычислительная сеть). Вдобавок к этому были описаны угрозы для физического уровня: кабинеты, коридоры, этажи и т.д. Цель исследования – дополнение и обновление списка угроз для конфиденциальности и целостности системы. В статье акцентируется внимание на уже составленный список угроз и модель для системы, но также рассматриваются новые угрозы и типы этих угроз. Научная новизна заключается в междисциплинарном рассмотрении вопроса с привлечением трудов современных российских и западных ученых. В результате исследования были описаны новые угрозы для конфиденциальности и целостности системы, определен тип данных угроз, и они классифицированы по каналам связи.

Ключевые слова: оценка защищенности информационных систем, модель системы, угрозы, канал ОС, канал ПО, канал ЛВС.

Актуальность угроз целостности и конфиденциальности информации требует внимательного отношения к задаче ее защиты. Раньше задача обеспечения информации решалась при помощи средств криптографической защиты, установления межсетевых экранов, разграничения доступа. Сейчас этих технологий уже недостаточно, так как увеличилось количество угроз на информацию, от которых нужно ее защищать.

В ходе анализа существующих и успешно применяющихся сегодня моделей угроз, с выявлением их преимуществ и проблемных аспектов был сделан вывод, что существующие модели, как правило, содержат неполный спектр информации касательно описываемых угроз (например, [1–3]).

Данные модели системы не описывают угрозы к этой модели в полной мере. Каждая модель описывает одни и те же угрозы, только разными словами, либо одна модель дополняет другую.

Также в данных моделях угрозы описываются словесными и математическими формализациями, что не очень удобно. Это может привести к тому, что каждую угрозу могут трактовать по-своему.

В данной статье сделана попытка дополнить модель угроз для информационной системы и сформулировать наиболее эффективную методику и систему критериев для оценки уровня защищенности информационных систем. А также в данной статье была сделана попытка объединения математических и словесных формализаций в единую систему.

Уникальность составленной модели будет заключается в ее гибкости и универсальности. Впоследствии представленная модель будет содержать все известные на данный момент угрозы из различных областей (иначе говоря, банк угроз), а также меры противодействия. Кроме того, актуальность решаемой проблемы заключается еще и в том, что в нашей стране для любых информационных систем, так или иначе подлежащих защите в соответствии с законодательством, необходимо разработать модель угроз.

Если сравнивать разрабатываемую модель с аналогами, то она должна стать более универсальной, позволяя различным предприятиям использовать ее для достаточно комплексного анализа собственной системы безопасности, для выявления уязвимостей и подбора соответствующих мер противодействия.

Правильное использование подобной модели будет практически исключать вероятность того, что какой-то элемент системы останется незащищенным, что какая-то уязвимость будет не обнаружена.

В данной статье приведены таблицы с некоторыми угрозами конфиденциальности и целостности системы. Информационная система состоит из территорий, на которых находятся здания с кабинетами, где хранится конфиденциальная информация, – это физический объект угроз. А также из локально-вычислительной сети, рабочей станции (операционной системы) и программного обеспечения – это программный объект угроз.

В разработанной модели угроз описываются угрозы конфиденциальности элементам информационной системы [1]. Результаты проделанной работы для конфиденциальности системы приведены в табл. 1–3.

Также в таблицах угрозы распределены по типам. Типы угроз для конфиденциальности информации следующие [5]: 1 – разглашение информации о местоположении; 2 – разглашение информации о механизмах защиты; 3 – разглашение информации об атрибутах.

Для целостности системы также были описаны угрозы. Данные результаты показаны в табл. 4–5.

Также, как и для угроз конфиденциальности системы, в таблицах угрозы распределены по типам угроз. Типы угроз для целостности следующие [5]: 1 – отключение или удаление; 2 – добавление; 3 – подмена; 4 – изменение атрибутов.

Таблица 1

Элементы для территорий и угрозы		
Элемент	Список угроз	Типы угроз
Кабинет	– Разглашение (утечка) № кабинета, где хранится/обрабатывается конфиденциальная информация;	1
	– разглашение (утечка) списка сотрудников, которые имеют доступ к конфиденциальной информации + выведывание информации у сотрудников (выведывает тот, у кого нет доступа к конфиденциальной информации, у кого есть); + в здании такие же;	2
	– разглашение уровня информации, которая хранится	3
Здания	– Разглашение о местонахождении здания и вход в него;	1
	– разглашение о правилах входа для сотрудников (предъявление пропуска, например);	2
	– разглашение плана здания	3

Таблица 2

Каналы для территории и список угроз		
Канал	Список угроз	Типы угроз
Коридор	– Разглашение о местонахождении коридоров (на каком этаже, какой коридор и какие кабинеты на этом этаже);	1
	– разглашение списка сотрудников, которые могут передвигаться по тем или иным коридорам и этажам;	2
	– разглашение плана коридоров	3
Территория	– Разглашение плана расположения зданий на территории;	1
	– разглашение списка сотрудников и правил входа для данных сотрудников, у которых есть доступ к территории;	2
	– разглашение плана территорий	3

Таблица 3

Элементы для компьютерной сети и список угроз		
Элемент	Список угроз	Типы угроз
ПО	– Разглашение (утечка) информации о названии программного обеспечения, установленного в рамках операционной системы;	1
	– разглашение (утечка) информации о протоколе, по которому осуществляется взаимодействие ПО;	2
	– разглашение (утечка) информации об имени ПО	3
ОС	– Разглашение (утечка) информации о настройках ОС;	1
	– разглашение (утечка) информации о протоколе, по которому осуществляется взаимодействие ОС, в соответствующей локальной сети;	2
	– разглашение (утечка) информации об имени ОС	3
ЛВС	– Разглашение (утечка) информации о настройках ЛВС;	1
	– разглашение (утечка) информации о протоколе, по которому осуществляется взаимодействие ЛВС;	2
	– разглашение (утечка) информации об имени ЛВС	3

Таблица 4

Элементы для территорий и угрозы		
Элемент	Список угроз	Типы угроз
Кабинет	– Отключение камеры, которая находится в кабинете с конфиденциальной информацией;	1
	– установка скрытых камер, микрофонов или жучков в кабинете;	2
	– подмена обычного пропуска на пропуск, который дает возможность на вход в кабинет с конфиденциальной информацией;	3
	– нарушение работоспособности сотрудников, которые работают в кабинете	4
Коридор	– Отключение либо выведение из строя камер, которые находятся в коридорах;	1
	– внедрение несанкционированного пользователя в список сотрудников, которые могут передвигаться по коридорам;	2
	– замена плана коридора;	3
	– изменение плана здания	4
Здания	– Отключение электроэнергии во всем здании;	1
	– добавление новых сотрудников в список тех сотрудников, которые могут проходить через пропускной пункт;	2
	– выкрасть пропуск у сотрудников, которые имеют право входа и выхода;	3
	– изменение плана здания	4
Территория	– Отключение электроэнергии;	1
	– установка микрофона или жучка в месте для курения;	2
	– подмена ключей для входа;	3
	– искажение данных в пропуске, который дает возможность входить на территорию	4

Элементы для компьютерной сети и список угроз

Элемент	Список угроз	Типы угроз
ПО	– Удаление программного обеспечения;	1
	– установка программного обеспечения;	2
	– подмена программного обеспечения;	3
	– изменение номера порта, который использует программное обеспечение	4
ОС	– Намеренное повреждение (выведение из строя) операционной системы;	1
	– установка дополнительной операционной системы;	2
	– подмена операционной системы;	3
	– изменения IP-адреса, используемого операционной системой	4
ЛВС	– Намеренное повреждение (выведение из строя) локально вычислительной сети;	1
	– добавление протоколов;	2
	– подмена протоколов;	3
	– изменение IP-адреса сети	4

Заключение

С целью дальнейшей оценки уровня защищенности была осуществлена работа по дополнению модели угроз для информационной системы, описанной в [1–3]. На основе модели информационной системы были выявлены типы угроз для элементов и каналов. Выявлено большое количество угроз на информационную систему, и для удобства их обнаружения, был составлен метод классификации данных угроз.

В ходе работы было выделено 6 элементов, 6 каналов, а также типовые угрозы: 34 для конфиденциальности системы и 32 для целостности системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2020–2022 гг. (проект № FEWM-2020-0037).

Литература

1. Новохрестов А.К. Модель угроз информационной безопасности программного обеспечения компьютерных сетей на основе атрибутивных метаграфов: дис. ... канд. техн. наук. – Томск: ТУСУР, 2018. – С. 35–56.

2. Новохрестов А.К., Никифоров Д.С., Конев А.А., Шелупанов А.А. Модель угроз безопасности автоматизированной системы коммерческого учета энергоресурсов // Доклады ТУСУР. – 2016. – Т. 19, № 3. – С. 111–114.

3. Конев А.А. Подход к построению модели угроз защищаемой информации // Доклады Том. гос. ун-та си-

стем управления и радиоэлектроники. – 2012. – Т. 1, № 2. – С. 34–39.

4. Novokhrestov A., Konev A., Shelupanov A.A., Buy-mov A. Computer network threat modelling // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series, 1488 (2020), 012002. – 6 p.

5. Информационная безопасность. Механизмы информационной безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lektsii.org/5-78891.html> (дата обращения: 12.05.2020).

Агеева Валерия Сергеевна

Студентка каф. БИС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-903-915-35-10
Эл. почта: lerunya.ageeva@mail.ru.

Новохрестов Алексей Константинович

Доцент каф. КИБЭВС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-29, внут. 29-71
Эл. почта: nak@fb.tusur.ru

Холодова Мария Антоновна

Студентка каф. БИС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-913-101-7013
Эл. почта: marikholodova@mail.ru.

УДК 004.056.53

А.В. Набиева, И.Р. Полиняева, А.Е. Половников, Н.С. Егошин

Угрозы безопасности информации в физической среде и киберпространстве

На основе модели информационных потоков разработаны угрозы между двумя объектами по разным каналам. Составлен список угроз конфиденциальности, целостности и доступности информации.

Цель исследования: дополнение и обновление существующего списка угроз для конфиденциальности, целостности, доступности информации. В данной статье представлен неполный список угроз, составленный на основе модели информационных потоков. Уникальность нашего метода заключается в гибкости и универсальности, т.е. его можно использовать для систематизации угроз в любой инфраструктуре.

Ключевые слова: информация, доступность, угроза, модель, конфиденциальность, целостность, безопасность, информационный поток, среда, носитель.

В информационном обществе большая часть экономической деятельности так или иначе связана с информацией, ее хранением и обработкой, поэтому информация и различные информационные ресурсы представляют повышенный интерес для злоумышленников и нуждаются в обеспечении их защиты [1].

Развитие информационных технологий, появление новых методов и каналов передачи информации приводят к появлению множества проектов, ориентированных на разработки в различных областях обеспечения информационной безопасности и их внедрение в отрасли народного хозяйства [2].

Однако необходимость в оценке качества существующих и разрабатываемых систем защиты не уменьшается в связи с появлением новых подходов и нюансов, связанных в первую очередь с появлением новых технологий. Для наиболее точной оценки необходимо иметь наиболее гибкую и всеобъемлющую модель угроз [3].

Существующие модели на сегодняшний день неполны, узконаправлены. В ходе исследований данных моделей был сделан вывод, что они не содержат в себе полный спектр информации касательно существующих угроз. Наша разрабатываемая модель может использоваться для анализа любой системы.

В [4] описаны модель угроз и модель нарушителя, которая применяется в Министерстве чрезвычайных ситуаций Республики Крым и его подведомственных учреждениях. Модель угроз представлена как описание самой угрозы, ее возможные источники, способы реализации, используемые уязвимости и возможные последствия. В данной модели нет разграничения, на что направлены угрозы: конфиденциальность, доступность или целостность информации. Также в данной модели непонятно, направлена угроза на объект, на котором хранится информация, или на канал передачи информации между двумя объектами.

В [5] представлена узконаправленная модель, так как она используется конкретно для анализа информации о государственных и муниципальных торгах на реализацию (продажу). Данную модель очень сложно применить в других областях. В данной мо-

дели нет конкретного разграничения: направлены угрозы на информацию или на информационную систему в целом.

В статье [6] представлена типовая модель угроз безопасности персональных данных, которая применяется для информационных систем автоматизации учебного процесса. Данная модель является узконаправленной, так как в ней выявлены угрозы, направленные только на обработку персональных данных в рассмотренных информационных системах.

Модель, приведенная на рис. 1, представляет собой метаграф, вершины которого являются носителями информации, а ребра – возможными каналами ее передачи. Представленная модель является основой для построения схемы документооборота в организации, так как любую схему документооборота можно представить как совокупность элементарных информационных потоков. Данная модель информационных потоков была взята за основу для построения комплексной модели угроз информации и ее носителям.

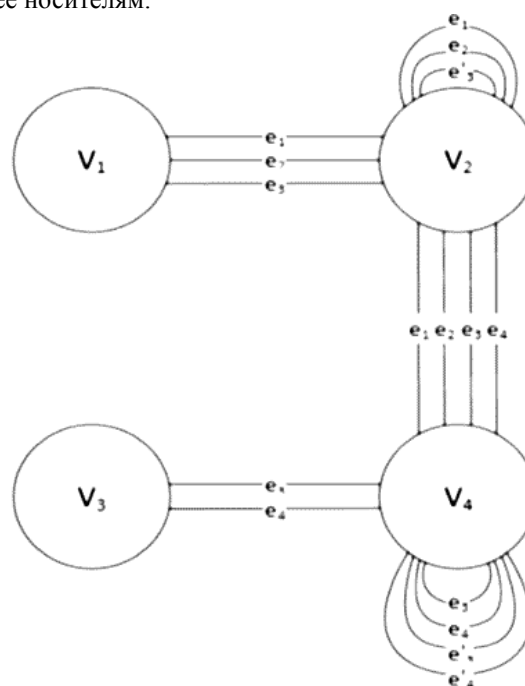


Рис. 1. Модель информационных потоков

Вершинами метаграфа являются носители информации: V_1 – объект, хранящий аналоговую информацию, в том числе печатные документы; V_2 – человек; V_3 – объект, хранящий цифровую информацию; V_4 – процесс.

Ребрами метаграфа являются каналы передачи информации: e_1 – в визуальной среде; e_2 – в акустической среде; e_3 – в электромагнитной среде; e_4 – в виртуальной среде.

Также можно выделить каналы удаленной передачи информации: e_3' – в электромагнитной среде; e_4' – в виртуальной среде.

Всякую угрозу конфиденциальности информации можно отнести к одной из типовых угроз: K_1 – фальсификация получателя (получение конфиденциальных данных посторонним элементом); K_2 – фальсификация канала (замена санкционированного канала на несанкционированный); K_3 – управление каналом (получение конфиденциальных данных посторонним элементом из-за границ периметра санкционированного объекта).

Исходя из этого, были подобраны некоторые примеры угроз для каждой типовой угрозы конфиденциальности информации каждой «тройки» (табл. 1).

Всякую угрозу целостности информации можно отнести к одной из трех типовых угроз: C_1 – фальсификация данных (отправление посторонних данных элементу); C_2 – изменение данных в процессе передачи по каналу либо на самом носителе (наличие помех и ошибок в канале/носителе); C_3 – деструктивное воздействие на источник (носитель) информации (постороннее негативное воздействие на источник данных).

Учитывая все вышеизложенное, были подобраны некоторые примеры угроз для каждой типовой угрозы целостности информации каждого рассматриваемого носителя информации (табл. 2).

Типовые угрозы доступности информации: D_1 – отказ канала (отсутствие доступа к данным); D_2 – перегрузка канала (частичный доступ к данным).

Каждому каналу передачи и каждой типовой угрозе были подобраны уникальные примеры угроз (табл. 3).

Таблица 1

Примеры угроз конфиденциальности информации

Носители информации	Канал передачи	Типовые угрозы	Примеры угроз
$V_1 - V_2$ объект – человек	e_1 (визуальный)	K_1	Утечка информации при установке сотрудником скрытых фото- или видеокamer в помещениях, где хранятся документы, содержащие конфиденциальную информацию, и предоставление доступа к этим устройствам постороннему лицу
		K_2	Просмотр документов, содержащих конфиденциальную информацию, в местах, не обеспечивающих их конфиденциальности
		K_3	Подглядывание н/с лицом через окна
	e_2 (акустический)	K_1	Утечка информации при установке сотрудником жучков в помещениях
		K_2	Использование сотрудником аудиовидеоносителя вне расположения санкционированного рабочего места; чтение конфиденциальной информации вслух вне расположения санкционированного рабочего места
		K_3	Подслушивание н/с лицом
		K_1	Установка жучков в рабочем помещении; съем акустической информации при помощи технической аппаратуры направленного действия и предоставление доступа к этим устройствам постороннему лицу
	e_3 (электромагнитная среда)	K_2	Использование сотрудником передатчика электромагнитной информации вне расположения санкционированного рабочего места
		K_3	Получение информации с устройств ввода/вывода (магнитофон) по каналу ПЭМИН
		K_1	Передача постороннему лицу конфиденциальной информации
$V_2 - V_2$ человек – человек	e_1 (визуальный)	K_2	Обмен данными сотрудниками вне расположения санкционированного рабочего места
		K_3	Установка сотрудником скрытых фото- или видеокamer в помещениях, где хранятся документы, содержащие конфиденциальную информацию, и передача доступа к этим устройствам другому сотруднику
		K_1	Передача постороннему лицу конфиденциальной акустической информации
	e_2 (акустический)	K_2	Обсуждение конфиденциальной информации сотрудниками вне расположения санкционированного рабочего места
		K_3	Подслушивание разговора н/с лицом
		K_1	Передача постороннему лицу конфиденциальной информации

Таблица 2

Примеры угроз целостности информации

Носитель информации	Типовые угрозы	Примеры угроз
1	2	3
V_1 – документ	C_1 – изменение содержимого	Фальсификация документа
	C_2 – помехи	Н/с повреждение документа
	C_3 – уничтожение	Н/с уничтожение документа

Продолжение табл. 2

1	2	3
V ₂ – человек	C ₁ – изменение содержимого	Дезинформация
	C ₂ – помехи	Частичная потеря памяти (провалы в памяти)
	C ₃ – уничтожение	Полная потеря памяти
V ₃ – объект, хранящий цифровую информацию	C ₁ – изменение содержимого	Подмена носителя информации на н/с
	C ₂ – помехи	Наличие поврежденных секторов на носителе (бэд-секторов)
	C ₃ – уничтожение	Н/с удаление информации с носителя или его форматирование
V ₄ – процесс	C ₁ – изменение содержимого	Замена виртуального адреса санкционированного процесса на адрес н/с
	C ₂ – помехи	Ошибки межпроцессорного взаимодействия
	C ₃ – уничтожение	Удаление виртуального адресного пространства процесса

Таблица 3

Примеры угроз доступности информации

Канал передачи	Типовые угрозы	Примеры угроз
e ₁ (визуальный)	D ₁ (отказ канала)	Отсутствие возможности работы с графическим интерфейсом вследствие поломки устройств ввода/вывода информации
	D ₂ (перегрузка канала)	Некорректная работа монитора, размагничивание матрицы, мерцание изображения вследствие неверно подобранного драйвера видеокарты
e ₂ (акустический)	D ₁ (отказ канала)	Отсутствие акустической возможности работы с интерфейсом программы по причине выхода из строя микрофона, колонок
	D ₂ (перегрузка канала)	Некорректная работа колонок и микрофона вследствие неверно подобранных драйверов данных устройств
e ₃ (э-магнитный)	D ₁ (отказ канала)	Выход из строя устройства ввода/вывода информации видеоплеера, музыкального проигрывателя, планшета
	D ₂ (перегрузка канала)	Частичный выход из строя устройства ввода/вывода информации видеоплеера, муз. проигрывателя, планшета, монитора, принтера
e ₄ (виртуальный)	D ₁ (отказ канала)	Выход из строя драйвера элементов ввода/вывода информации
	D ₂ (перегрузка канала)	Неправильная работа драйвера ввода/вывода информации, неверно подобранный драйвер ввода/вывода информации

Заключение

На основе модели информационных потоков были разработаны угрозы для трех свойств информации (целостность, конфиденциальность и доступность), возникающие в момент ее передачи между четырьмя различными носителями по одному из четырех каналов. Для всех пар носителей и связывающих их каналов в общей сложности были разработаны 35 примеров угроз.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2020–2022 гг. (проект № FEWM-2020-0037).

Литература

1. Филяк П.Ю. Актуальность обеспечения информационной и экономической безопасности в условиях информационного общества // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 3. – С. 262–267.
2. Новохрестов А.К., Конев А.А., Шелупанов А.А., Егошин Н.С. Модель угроз безопасности информации и ее носителей // Вестник Иркут. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 21, № 12. – С. 93–104.
3. Модели угроз безопасности информации и модели нарушителя в Министерстве чрезвычайных ситуаций Республики Крым и его подведомственных учреждениях. – Симферополь, 2017.
4. Модель угроз безопасности информации информационной системы «Информационная система для анализа информации о государственных и муниципальных торгах на реализацию (продажу)». – М., 2015.

5. Газизов Т.Т., Мытник А.А., Бутаков А.Н. Типовая модель угроз безопасности персональных данных для информационных систем автоматизации учебного процесса // Доклады ТУСУР. – 2014. – № 2 (32). – С. 47–50.

6. Шелупанов А.А., Евсютин О.О., Конев А.А. и др. Актуальные направления развития методов и средств защиты информации // Доклады ТУСУР. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 11.

Набиева Алина Вахидовна

Студентка каф. КИБЭВС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-952-888-79-43
Эл. почта: nabievaalina999@gmail.com.

Полиняева Ирина Руслановна

Студентка каф. БИС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-923-425-60-75
Эл. почта: pol_irina_r@rambler.ru.

Половников Артем Евгеньевич

Студент каф. БИС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-960-934-73-33
Эл. почта: artempol99@mail.ru.

Егошин Николай Сергеевич

Преп. каф. КИБЭВС ТУСУР
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-29
Эл. почта: ens@fsp.tusur.ru

*Секция 15***ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В УПРАВЛЕНИИ И ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ**

*Председатель секции – Сенченко Павел Васильевич, проректор по учебной работе,
доцент каф. АОИ, канд. техн. наук*

УДК 004.827

А.А. Емельянов, О.В. Булыгина**Выбор инструментов анализа НЕ-факторов с учетом коэффициента эмерджентности Хартли**

Специфика инновационных проектов по созданию наукоемкой продукции нередко приводит к тому, что информация, используемая для поддержки принятия управленческих решений, зачастую не обладает такими свойствами, как полнота, непротиворечивость, точность, достоверность. В результате проектное управление осуществляется в условиях неопределенности, что может приводить к тому, что при планировании не будет учтено большое количество факторов, которые могут вызвать провал проекта. В качестве решения этой проблемы предложено производить идентификацию и анализ НЕ-факторов, которые представляют собой источники проектных рисков и не обладают одним из свойств классических моделей знаний. Для идентификации НЕ-факторов предлагается использование нейро-нечеткого классификатора, который будет подразделять их на категории. Выбор же инструментов анализа НЕ-факторов целесообразно проводить с учетом коэффициента эмерджентности Хартли: в случае низкого значения предлагается использовать нечеткий логический вывод по алгоритму Мамдани, в противном – нечеткие пирамидальные сети.

Ключевые слова: проектное управление, НЕ-факторы, эмерджентность, нейро-нечеткий классификатор, нечеткая логика, нечеткие пирамидальные сети.

В процессе управления сложными проектами по созданию наукоемкой продукции важную роль играет информационная поддержка принятия решений, которая должна основываться на полных, достоверных, точных, непротиворечивых данных. В то же время разработка таких проектов обычно осуществляется в условиях неопределенности, что обусловлено большим количеством участников, сложными производственно-технологическими связями, длительным периодом реализации.

В этой связи особое значение при проектном планировании необходимо придавать выявлению факторов внутренней и внешней среды, которые могут негативно повлиять на его реализацию. Однако для инновационных проектов обычно трудно сформировать достаточный объем «качественной» информации, на основе анализа которого могут приниматься своевременные и обоснованные управленческие решения.

Для решения указанной проблемы было предложено использование подхода, основанного на моделировании НЕ-факторов, которые не обладают одним из свойств классических моделей знаний.

Впервые термин «НЕ-факторы» был введен А.С. Нариньяни в 1980-х годах для описания «частичного знания» как неотъемлемого элемента реальной системы знаний. Таким образом, он обозна-

чал набор факторов, определяемых на естественном языке и отражающих негативную оценку качества знаний о процессе или объекте [1–3].

В дальнейшем исследовании НЕ-факторов занимались А.Н. Борисов, В.Н. Вагин, Ю.Р. Валькман, Г.В. Рыбина, В.Б. Тарасов и др. [4–8]. Данными авторами разработано несколько подходов к их классификации (рис. 1).

В приложении к рассматриваемой задаче наиболее предпочтителен вариант Ю.Р. Валькмана, который предлагает проводить их классификацию в пространстве «НЕ-фактор – объект исследования – метод моделирования». Так, он выделяет универсальные (общие для всех предметных областей) и специальные (характерные только для конкретной области) НЕ-факторы.

Целесообразность применения данного подхода обусловлена уникальным характером инновационного проекта по созданию наукоемкой продукции, который проявляется не только в его результате (новом продукте), но и в процессах разработки и реализации самого проекта.

Вышесказанное подтверждает актуальность разработки инструментов идентификации и анализа НЕ-факторов, которые необходимо учитывать в процессе разработки инновационных проектов по созданию наукоемкой продукции.

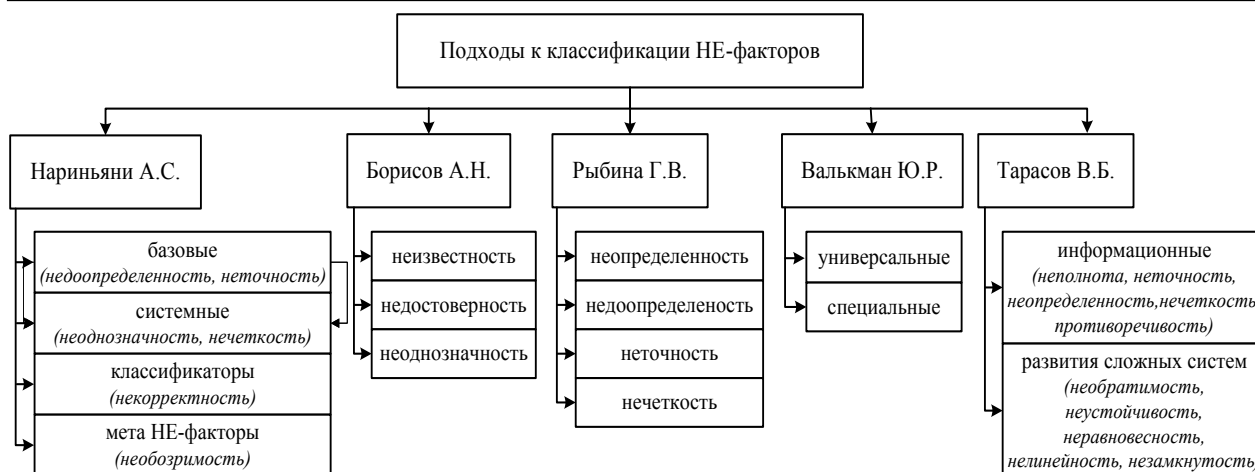


Рис. 1. Подходы к классификации НЕ-факторов

Системный эффект от проявления некоторой совокупности НЕ-факторов

Задача идентификации НЕ-факторов сводится к построению классификаторов факторов внутренней и внешней среды инновационного проекта по созданию наукоемкой продукции, которые могут привести к существенному снижению эффективности его реализации.

В качестве математического аппарата для идентификации НЕ-факторов предлагается использовать нейро-нечеткий классификатор, в котором алгоритмы нечеткого логического вывода реализованы в виде нейронной сети, имеющей разнородные слои нейронов. Данный аппарат позволяет осуществлять категоризацию НЕ-факторов на основании анализа имеющейся информации (ее количества и качества), а также экспертных мнений.

В процессе же анализа НЕ-факторов необходимо учитывать тот факт, что они могут приводить к негативным проектным последствиям как в отдельности, так и в сочетании. В то же время следует отметить, что ситуации влияния лишь одного НЕ-фактора возможны только для простых проектов, обычно нацеленных на производство продуктов-аналогов. При реализации сложных проектов инновационного характера такие ситуации возникают крайне редко.

На реализацию же проектов по созданию наукоемкой продукции обычно влияет большое количество НЕ-факторов различной природы, которые, в свою очередь, имеют сложные взаимосвязи между собой. При одновременном воздействии нескольких НЕ-факторов в той или иной степени (в зависимости от их числа) может проявляться свойство эмерджентности.

В системном анализе под эмерджентностью (или системным эффектом) понимается возникновение у сложной системы новых свойств за счет взаимодействия ее составных элементов (т.е. свойства системы не совпадают со свойствами ее подсистем).

В результате важную роль при анализе сложных социально-экономических систем играет количество новой информации об исследуемой системе, получаемое в результате объединения ее подсистем.

В приложении к исследуемым задачам проектного управления в качестве НЕ-факторов будут рассматриваться различные источники рисков ситуации. Вследствие риск инновационного проекта будет представлять собой результат проявления системного эффекта от некоторой совокупности НЕ-факторов.

Максимально возможный системный эффект от воздействия некоторой совокупности НЕ-факторов можно оценить, воспользовавшись принципами функционирования систем типа «булеан».

В литературе под булеаном понимается множество всех подмножеств некоторого множества A (обычно обозначается как $P(A)$), для которого $\emptyset \in P(A)$ и $A \in P(A)$. Таким образом, он представляет собой самую мощную систему, обладающую иерархической структурой.

Мощность булеана системы, имеющей W базовых неделимых элементов, определяется по формуле

$$W_{P(A)} = \sum_{m=1}^W C_W^m = 2^W - 1. \quad (1)$$

Применение коэффициента эмерджентности Хартли для выбора инструментов анализа НЕ-факторов

В рассматриваемой научно-практической задаче в качестве сложных систем будут использоваться классификаторы НЕ-факторов. Объединение таких систем может приводить к ситуации, когда мощность полученной сложной системы будет превосходить сумму мощностей систем, входящих в состав этого объединения, за счет возникновения системного эффекта.

Такая ситуация возможна только для системы типа «булеан», когда «из ниоткуда» появляются «виртуальные» составные элементы.

Возможность существования таких систем показана в теории информации Хартли, в которой утверждается, что системный эффект заключается в дополнительной информации, возникающей в процессе объединения элементов.

В [9] для количественной оценки величины системного эффекта предложено применять коэффициент эмерджентности Хартли. Так, для случая с

одним классификатором коэффициент эмерджентности имеет вид

$$\varphi = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\log_2 W}, \quad (2)$$

где φ – коэффициент эмерджентности Хартли; W – число базовых неделимых элементов в сложной системе; m – сложность составного элемента системы (т.е. число базовых элементов в составном элементе); M – максимальная сложность подсистемы (т.е. максимальное число базовых неделимых элементов в подсистеме).

Коэффициент эмерджентности Хартли определяется в границах $[\varphi_{\min}, \varphi_{\max}]$, где $\varphi_{\min} = 1$ (минимальная системность); $\varphi_{\max} = \log_2 \left(\sum_{m=1}^W C_W^m \right) / \log_2 W$ (максимальная системность).

Из формулы (2) видно, что коэффициент эмерджентности характеризует относительное превышение количества информации в системе с учетом различных системных эффектов над количеством информации, определяемым без их учета. Таким образом, он используется для качественного отражения уровня системности рассматриваемой социально-экономической системы.

Следует отметить, что максимальная сложность подсистемы M не может превышать число базовых неделимых элементов W , поскольку самым сложным элементом системы всегда является элемент, который состоит из всех базовых неделимых элементов (т.е. непосредственно сама система).

Для каждого числа базовых неделимых элементов системы имеется свой максимальный уровень системности, который в реальности недостижим из-за правил, связанных с особенностями формирования подсистем. Так, практически всегда существуют ограничения на максимальное и/или минимальное число базовых неделимых элементов в составе их некоторого сочетания.

Например, если система образована из W базовых неделимых элементов, то имеются следующие ограничения на сложность ее уровней:

- *первый уровень*: базовые неделимые элементы системы – это порождающее множество;
- *второй уровень*: составные элементы образованы сочетаниями из W по 2;
- *последний уровень*: составные элементы образованы сочетаниями из W по M .

В теории информации Хартли для измерения количества информации, содержащейся в некотором сообщении, используется следующая логарифмическая мера:

$$I = L \cdot \log_2 W, \text{ бит}, \quad (3)$$

где I – количество информации в сообщении (бит); L – длина сообщения (количество символов); W – мощность алфавита, используемого для кодирования сообщения на некотором языке (количество символов).

При идентификации же элемента множества мощностью W , выполняемой для равновероятной встречи, можно исключить множитель L , характеризующий длину сообщения.

Исходя из вышесказанного и формулы (3), получается, что

$$I = \log_2 \sum_{m=1}^M C_W^m \text{ бит}. \quad (4)$$

Рассмотрим практический пример, когда одновременно осуществляется работа с двумя классификаторами НЕ-факторов. Предположим, что имеется система A , которая состоит из K_A базовых элементов, и система B , которая состоит из K_B базовых элементов.

В таком случае будет использоваться обобщенный коэффициент эмерджентности, рассчитываемый по формуле

$$\mathfrak{S} = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_{K_A \cup K_B}^m}{\log_2 \left(\sum_{m=1}^M C_{K_A}^m \cup \sum_{m=1}^M C_{K_B}^m \right)}. \quad (5)$$

Обобщенный коэффициент эмерджентности (5) показывает, насколько количество информации, получаемой во время идентификации одного НЕ-фактора, увеличивается в результате их объединения за счет возникновения системного эффекта. В данном случае «из ниоткуда» не возникают дополнительные виртуальные элементы.

Обобщенный коэффициент эмерджентности, используемый для объединения набора систем $\{K_\alpha\}_{\alpha \in A}$, имеет вид:

$$\mathfrak{S} = \log_2 \sum_{m=1}^M C_{\bigcup_{\alpha \in A} K_\alpha}^m / \log_2 \bigcup_{\alpha \in A} \left(\sum_{m=1}^M C_{K_\alpha}^m \right). \quad (6)$$

Будем считать, что если коэффициент эмерджентности (6) имеет небольшое значение, то проектный риск был мотивирован либо одним НЕ-фактором, либо простой комбинацией их небольшого числа. В этом случае можно воспользоваться нечетким логическим выводом по алгоритму Мамдани, позволяющим получать совокупную возможность рискованного события в результате объединения нескольких НЕ-факторов.

Если же коэффициент эмерджентности (6) имеет высокое значение, то необходимо все используемые для конкретного риска НЕ-факторы объединять в единую систему. В этом случае целесообразно воспользоваться более сложным подходом, поскольку совокупный риск может иметь свойства, отсутствующие в каждом из объединяемых НЕ-факторов. В качестве математического аппарата для такого объединения можно предложить нечеткие пирамидальные сети, подробно описанные в [10].

Заключение

Предложенный подход к оценке проектных рисков, основанный на использовании интеллектуальных инструментов идентификации и анализа НЕ-факторов различной природы, целесообразно при-

менять при исследовании перспектив сложных инновационных проектов по созданию наукоемкой продукции. Его использование позволит повысить эффективность управленческих решений, принимаемых в условиях неопределенности и отсутствия надежных математических методов оценки совокупного риска.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-1534.2020.9 «Методы моделирования сложных систем с использованием нечетко-сетевых алгоритмов и роевого интеллекта».

Литература

1. Нариньяни А.С. Недоопределенность в системах представления и обработки знаний // Изв. Академии наук СССР. Техническая кибернетика. – 1986. – № 5. – С. 3–28.
2. Нариньяни А.С. НЕ-факторы: неточность и недоопределенность – различие и взаимосвязь // Изв. РАН: Теория и системы управления. – 2000. – № 5. – С. 44–56.
3. Нариньяни А.С. НЕ-факторы: краткое введение // Новости искусственного интеллекта. – 2004. – № 2. – С. 52–63.
4. Батыршин И.З. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / И.З. Батыршин, А.О. Недосекин, А.А. Стецко, В.Б. Тарасов, А.В. Язенин, Н.Г. Ярушкина. – М.: Физматлит, 2007.
5. Тарасов В.Б. НЕ-факторы: от семиотического анализа к методам формализации // Новости искусственного интеллекта. – 2004. – № 2. – С. 95–114.
6. Валькман Ю.Р. Моделирование НЕ-факторов: основа интеллектуализации компьютерных технологий // Новости искусственного интеллекта. – 2004. – № 2. – С. 64–81.

7. Вагин В.Н. Знание в интеллектуальных системах // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – № 6. – С. 8–18.

8. Рыбина Г.В. Приобретение знаний, содержащих НЕ-факторы // Новости искусственного интеллекта. – 2004. – № 2. – С. 2–94.

9. Луценко Е.В. Реализация операции объединения систем в системном обобщении теории множеств (объединение булеанов) // Научный журнал КубГАУ. – 2011. – № 1.

10. Булыгина О.В. Системный анализ в управлении / О.В. Булыгина, А.А. Емельянов, Н.З. Емельянова, А.А. Кукушкин. – М.: Форум-инфра-М, 2018.

Емельянов Александр Анатольевич

Д-р экон. наук, профессор, каф. информационных технологий в экономике и управлении филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Энергетический пр-т, д. 1, г. Смоленск, Россия, 214013

ORCID: 0000-0001-8446-5937

Тел.: +7 (481-2) 64-08-16

Эл. почта: aa.emelianov@gmail.com

Булыгина Ольга Валентиновна

Канд. экон. наук, доцент каф. информационных технологий в экономике и управлении филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Энергетический пр-т, д. 1, г. Смоленск, Россия, 214013

ORCID: 0000-0001-6890-2842

Тел.: +7 (481-2) 64-08-16

Эл. почта: baguzova_ov@mail.ru

УДК 621.396.41

Е.П. Грабчак, Е.Л. Логинов

«Цифровые двойники» как инструмент раннего предупреждения и управления экстренным реагированием на чрезвычайные ситуации на объектах топливно-энергетического комплекса

Внедрение «цифровых двойников» позволяет сформировать базу для описания идентифицируемых состояний энергетических объектов с повышенными требованиями к отказоустойчивости. Интеграция информационных систем обеспечивается за счет стандартизации наблюдений (в том числе описаний) идентифицируемых состояний технологических объектов для сравнения показателей с целью выявления недостоверных данных по косвенным признакам и построения достоверных прогнозных оценок различных категорий данных. Описания идентифицируемых состояний технологических объектов базируются на мониторинге динамики технического состояния и зависят от форм воздействий через выделенные кластеры факторов, влияющих на отказоустойчивость сегментов суперсистемы.

Ключевые слова: топливно-энергетический комплекс, управление, цифровые двойники, информационная система, чрезвычайные ситуации.

Проблемы управления оборудованием объектов в ТЭК России в условиях развития опасных технологических ситуаций актуализируют задачу формирования интегрированной системы поддержки процессов управления с учетом угроз технического характера.

Необходимо обеспечение взаимодействия всех компонентов обработки и анализа данных. В первую очередь это касается технологических сигналов: источников данных и технологических сигналов, программных модулей обработки и анализа данных, результатов обработки, интерфейсов обмена информацией.

Внедрение «цифровых двойников» позволяет сформировать базу для описания идентифицируемых состояний технологических объектов с повышенными требованиями к отказоустойчивости (АЭС, ТЭС и пр.) [1, 2].

Проблемы управления сложными техническими объектами, обладающими многосторонними связями в цифровом управленческом пространстве

Для раннего предупреждения и управления экстренным реагированием на чрезвычайные ситуации необходимо обеспечение наблюдаемости многопараметрического информационного поля функционирования объектов в ТЭК России [3, 4]. В первую очередь это касается динамики технического состояния (штатные, критические и аварийные режимы) [5].

Расширение количества технологических элементов киберфизических систем с большим количеством интеллектуальных устройств с расширенной компонентой автономного поведения в рамках систем генерирующих и сетевых объектов создает новые возможности для поддержки принятия решений в сложных условиях [6, 7]. Управление в сложных ситуациях с существенной компонентой неопределенности наиболее чувствительно к изменению наблюдаемости многопараметрического информа-

ционного поля объектов в ТЭК России как элементов суперсистемы [8, 9].

Функционирование объектов в ТЭК России (распределенного комплекса систем с дву- и многосторонними связями в цифровом управленческом пространстве сегментов отрасли) базируется на отображении набора атрибутов в отношении отображения состояний системы. Описания идентифицируемых состояний технологических объектов базируются на мониторинге динамики технического состояния и зависят от форм воздействий через выделенные кластеры факторов, влияющих на отказоустойчивость сегментов суперсистемы. Эти описания могут группироваться в информационные блоки, которые представляют интерес для анализа с целью раннего предупреждения и управления экстренным реагированием на чрезвычайные ситуации.

Инструментальная поддержка анализа проявления природных и технических факторов, учитываемых в процессах раннего предупреждения и управления экстренным реагированием на чрезвычайные ситуации, может быть эффективно реализована с использованием телекоммуникационного и телеметрического оборота цифровых данных и вычислительных сервисов – аналитических математических зависимостей для описания сложных процессов, протекающих внутри систем энерго- и теплоснабжения, в контексте старения, износа, выбытия, ремонта и замены функциональных узлов. «Цифровые двойники» физических объектов или процессов позволяют повысить эффективность контроля за работой сложных киберфизических систем с большим количеством интеллектуальных устройств с расширенной компонентой автономного поведения с возможностью неограниченного наращивания числа анализируемых функциональных узлов и получаемых данных от интеллектуальных датчиков. Создается возможность прогнозирования функционального поведения систем генерирующих и сетевых объектов в сложных условиях с наращиванием объемов

анализируемых данных и выявлением ранее недоступных характеристик как технологических операций и процессов, так и действий производственного и управленческого персонала.

Расширение количества анализируемых параметров агрегированных групп функциональных узлов оборудования позволяет повысить наблюдаемость многопараметрического информационного поля объектов в ТЭК России на основе сервисов цифровой топологии.

Интеграция информационных систем различных групп распределенных киберфизических систем с повышенными требованиями к отказоустойчивости (АЭС, ТЭС и пр.) в интересах раннего предупреждения и управления экстренным реагированием на чрезвычайные ситуации обеспечивается за счет стандартизации наблюдений (в том числе описаний) идентифицируемых состояний технологических объектов для сравнения показателей для выявления недостоверных данных по косвенным признакам и построения достоверных прогнозных оценок различных категорий данных [10–12].

Повышение наблюдаемости объектов в ТЭК России

Повышение наблюдаемости многопараметрического информационного поля объектов в ТЭК России как элементов суперсистемы (распределенного комплекса систем с дву- и многосторонними связями в цифровом управленческом пространстве сегментов отрасли) может быть реализовано путем прямого взаимодействия «цифровой объект – цифровой объект» с выводом итоговой информации на управляющий центр энергокомпании или Минэнерго России (техническая инспекция ЕЭС, САЦ Минэнерго России и т.п.) либо при передаче «от цифрового объекта» информации в систему мониторинга с выводом итоговой информации на управляющий центр. То есть выявление многопараметрических характеристик процесса с использованием интеллектуального генератора и транслятора данных, интегрируемого из отдельных квазиавтономных элементов в сети (полицентрической системе) стандартных организационно-информационных комплексов различных электро- и теплоэнергетических структур.

Основные цифровые технологии

В качестве основных цифровых технологий, на внедрение которых ориентирована предлагаемая разработка, можно выделить следующие:

1. Внедрение в практику поддержки процессов управления объектами в ТЭК России в сложных технологических ситуациях (в условиях угроз чрезвычайных ситуаций) новых передовых алгоритмов и методик, позволяющих системе справиться с новыми угрозами, четко не обозначенными в прикладных программных модулях.

2. Создание инструментов поддержки процессов управления объектами в ТЭК России на уровне технологических процедур, позволяющих перенести технологии и модели на основании нечеткой логики

в структуру процесса по направленному конструированию технологических соединений в рамках цифрового «двойника» объекта.

3. Создание и внедрение автоматизированных методов анализа на все уровни управления группой объектов в рамках кластеров генерирующих и сетевых объектов.

4. Адаптация широкого спектра алгоритмов и методов расчетов для работы на новых высокопроизводительных аппаратных системах с учетом приоритетов импортозамещения как аппаратных, так и программных средств.

Экспертная система распознавания данных

Экспертная система распознавания данных, содержащая информацию, необходимую для поддержания технологических процессов в сложных условиях со значительной вероятностью развития угрожающей ситуации (ожидание пожаров и взрывов), должна обеспечить:

1. Поиск взаимосвязей между сбойми технологического процесса в рамках цифрового «двойника» объекта, идентифицированными с применением высокоэффективных методов в режиме реального времени (по предварительно обработанной и подготовленной базе данных).

2. Возможность обработки и хранения данных и их дублирования в условиях угроз чрезвычайных ситуаций.

3. Работу серверной части системы в многопользовательском режиме на системах распределенных вычислений.

4. Специфичность распознавания идентификаторов основных технологических сигналов, в том числе с существенной компонентой искажения или помех, с достоверностью не менее 85%.

5. Формирование аннотации каждого технологического процесса в рамках цифрового «двойника» объекта, отображенного в сети.

6. Возможность выделения пользователем фрагмента сети, для которого отображается информация о наиболее часто используемых основных технологических сигналах, для выявления сигналов, которые должны быть отфильтрованы как некорректные.

7. Поддержку форматов входных и выходных данных с ориентацией на разработку алгоритмов обеспечения технологических соединений в рамках цифрового «двойника» объекта.

Полицентричная база основных технологических сигналов

Полицентричная база основных технологических сигналов, должна обеспечивать в условиях угроз чрезвычайных ситуаций:

1. Хранение данных и информации о структурно-функциональных свойствах основных технологических процессов в привязке к функциональным узлам технологических объектов с использованием выбранной СУБД в объеме не менее 100 миллионов записей.

2. Наличие программных средств анализа и документирования данных и информации об основных

технологических сигналах, используемых в супер-системе кластеров генерирующих и сетевых объектов, для подборки их оптимальных последовательностей в режиме реального времени для замещения искаженных нераспознанных командных сигналов.

3. Возможность автоматического обмена данными с существующими объектами, в том числе их базами данных и депозитариями технологической информации, используемой для управления работой функциональных узлов объектов в ТЭК России.

4. Наличие развитого интеллектуального решателя для обеспечения замещения выбывших (в ходе пожаров и/или взрывов) технологических соединений в рамках цифрового «двойника» объекта.

5. Интеграцию с другими модулями интегрированной системы поддержки процессов управления объектов в ТЭК России.

Система обработки и интеллектуального анализа данных

Система обработки и интеллектуального анализа данных, в первую очередь технологических сигналов энергетических объектов, должна обеспечивать:

1. Поиск необходимого алгоритма поддержки устойчивости процесса управления объектом по свойствам входного сигнала, несмотря на наличие помех естественного или искусственного характера, в зависимости от анализа угроз внешних информационных атак.

2. Интуитивный интерфейс создания сложных многоступенчатых сценариев обработки данных на языке диаграмм с возможностью подбора и использования агентных методов в различных пакетах обработки и анализа данных, в первую очередь технологических сигналов.

3. Реализацию всех методов обработки данных, в первую очередь в отношении технологических сигналов энергетических объектов, необходимых для извлечения количественных характеристик, проведения моделирования ситуации с учетом новых параметров, а также с учетом неизвестных параметров, которые предположительно могут влиять на технологический процесс.

4. Улучшение качества данных, в первую очередь технологических сигналов, оценивание и коррекцию ошибок в извлекаемых количественных данных.

5. Высокопроизводительную обработку и анализ в распределенной вычислительной сети на основе методов нечеткой логики с применением разработанных алгоритмов параллельной обработки данных и параллельного интеллектуального анализа.

6. Повышение надежности управления за счет использования разработанных алгоритмов самоорганизации в высокопроизводительной информационной системе на основе интеллектуальных агентов как элементов цифрового «двойника» объекта.

7. Визуализацию трехмерных данных, представленных в понятном для оператора формате.

8. Масштабируемость в распределенной вычислительной среде с возможностью распространения на значительное число ранее незадействованных

объектов, включая облачные центры и компьютерные кластеры удаленных центров управления.

9. Использование базы методов и прикладных алгоритмов обработки данных, в первую очередь технологических сигналов и их реализаций в различных программных пакетах.

10. Интеграцию разнородных распределенных источников информации – файлов данных, в первую очередь технологических сигналов, текстов, баз данных и пр.

11. Открытость архитектуры, допускающую расширение функциональности системы путем интеграции со сторонними пакетами обработки и анализа данных и встраивание системы в единую программную платформу кластеров генерирующих и сетевых объектов.

Автоматизированная система конструирования технологических соединений

Автоматизированная система конструирования технологических соединений должна обеспечить:

1. Прием данных, распознавание, восстановление и передачу основных технологических сигналов, в том числе с существенной компонентой искажения или помех, в адекватные сроки.

2. Возможность работы вычислительных элементов на системах распределенных вычислений, включая замещение внешними источниками вычислительных мощностей, выбывшими в ходе пожаров и взрывов в рамках технологических объектов.

3. Наличие набора стандартных протоколов для приема, распознавания, восстановления и передачи основных технологических сигналов, в том числе с существенной компонентой искажения или помех.

4. Удобный пользовательский интерфейс с возможностью работы в многопользовательском режиме.

5. Возможность произвольного расширения библиотеки данных, включая искаженные сигналы или поврежденные пакеты данных.

Заключение

В рамках рассматриваемого подхода должна быть:

- разработана универсальная опытно-промышленная технология «встраивания» распознанных или восстановленных основных технологических сигналов, в том числе с существенной компонентой искажения или помех, в интегрированную систему поддержки процессов управления объектами в ТЭК России в условиях развития опасных технологических ситуаций;

- разработана нормативно-техническая документация, необходимая для выпуска готовых моделей основных технологических процессов в рамках цифрового «двойника» объекта;

- организована опытно-промышленная эксплуатация элементов интегрированной системы поддержки процессов управления объектами в ТЭК России в условиях развития опасных технологических ситуаций (в условиях угроз чрезвычайных ситуаций);

- организован анализ процессов эксплуатации элементов интегрированной системы поддержки процессов управления для доработки и совершенствования предлагаемой технологии.

Литература

1. Грабчак Е.П. Цифровые подходы к управлению объектами электро- и теплоэнергетики с применением интеллектуальных киберфизических систем / Е.П. Грабчак, Е.Л. Логинов // Надежность и безопасность энергетики. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 172–176.
2. Грабчак Е.П. Цифровая трансформация электроэнергетики. – М.: Кнорус, 2018. – 340 с.
3. Логинов Е.Л. Развитие интеллектуальных сервисов в автоматизированных информационных системах управления / Е.Л. Логинов, А.А. Шкута. – М.: Финансовый университет при Правительстве РФ, 2018. – 214 с.
4. Дорофеев В.В. Концептуальные положения цифровой трансформации российской энергетики // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2019. – № 9 (122). – С. 5–13.
5. Маматов А.В. Моделирование и методы реализации информационной системы распределенной обработки данных с элементами искусственного интеллекта и технологии Big data / А.В. Маматов, А.Н. Немцев, Р.А. Загороднюк // Известия ТРТУ. – 2006. – № 5 (60). – С. 22–25.
6. Грабчак Е.П. Концептуальный подход к внедрению в отрасли рискориентированной системы мониторинга и оценки готовности субъектов электроэнергетики к работе в отопительный сезон // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2018. – № 3 (48). – С. 4–10.
7. Хузмиев И.К. Цифровая энергетика – новая инфраструктура экономики 4.0 // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2017. – № 4 (43). – С. 8–12.
8. Логинов Е.Л. Внедрение цифровых платформ для управления сложными техноорганизационными системами топливно-энергетического комплекса России: от цифровой энергетики – к цифровой экономике / Е.Л. Логинов, А.А. Шкута. – М.: Институт проблем рынка РАН, 2018. – 189 с.
9. Мищеряков С.В. Цифровая оценка надежности производственной системы субъектов энергетики // Надежность и безопасность энергетики. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 109–116.
10. Фаворский О.Н. Актуальные проблемы обеспечения энергетики страны конкурентоспособным оборудованием / О.Н. Фаворский, С.П. Филиппов, В.Л. Полищук // Вестник Российской академии наук. – 2017. – Т. 87, № 8. – С. 679–688.
11. Аюев Б.И. Разработка программно-технического комплекса противоаварийной автоматики Калининградской энергосистемы / Б.И. Аюев, Е.П. Грабчак, А.А. Лисицын и др. // Известия НТЦ единой энергетической системы. – 2019. – № 2 (81). – С. 14–22.
12. Грабчак Е.П. О методологии расчета технического риска на основе вероятности и последствий отказа функционального узла и единицы основного технологического оборудования / Е.П. Грабчак, Е.А. Медведева, А.О. Петренко, Т.В. Щинова // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2019. – № 1 (52). – С. 22–29.

Грабчак Евгений Петрович

Канд. экон. наук, директор департамента
Министерства энергетики РФ (Минэнерго России)
Щепкина ул., д. 42, г. Москва, Россия, 107996
Тел.: +7 (499-6) 31-90-43
Эл. почта: grabchak.eug@gmail.com

Логинов Евгений Леонидович

Д-р экон. наук, профессор РАН,
начальник экспертно-аналитической службы
Ситуационно-аналитического центра Минэнерго России
(САЦ Минэнерго России)
Щепкина ул., д. 42, г. Москва, Россия, 107996
Тел.: +7-903-100-78-24
Эл. почта: evgenloginov@gmail.com

УДК 004.02, 004.051

В.А. Комаров, А.В. Сарафанов

Методологические основы проектирования многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем как элементов организационно-технических систем управления

Выделена проблема ресурсного обеспечения прикладных натуральных экспериментальных исследований в ряде организационно-технических систем управления, в частности, в системах управления обучением. Обозначена тенденция ее решения на основе многопользовательских измерительно-управляющих систем. Рассмотрены методологические основы их проектирования. Представлены базовые аналитические соотношения, описывающие ключевые этапы процесса проектирования с использованием компонентов предложенной методологии.

Ключевые слова: автоматизация экспериментальных исследований, мультиарендность, система управления обучением, многопользовательские измерительно-управляющие системы, методология проектирования, автоматизация проектирования.

Широкое внедрение сквозных цифровых технологий способствует модернизации организационно-технических систем в различных сферах человеческой деятельности, таких как образование, наука, промышленность, социальная сфера и пр. [1]. Примером таких систем являются системы управления обучением (Learning Management System, LMS) [2] и системы управления жизненным циклом изделий в комплексе с системой управления данными об изделии на различных этапах его жизненного цикла (Product Data Management System, PDM) [3]. Их модернизация имеет важное народнохозяйственное значение и осуществляется, в том числе, посредством совершенствования элементов, выполняющих отдельные функции, операции, подпроцессы в данных системах. К одним из таких элементов относят технические средства, реализующие подпроцесс преобразования априорной информации об объекте и задачах экспериментальных исследований в апостериорную информацию о количественных и качественных характеристиках свойств исследуемого объекта, которая используется для последующего принятия решений в процессе предоставления услуг и/или производства.

Постановка задачи

Возрастающая сложность и стоимость испытательного, научно-исследовательского и лабораторного оборудования обуславливают необходимость решения проблемы ресурсного обеспечения процессов прикладных натуральных экспериментальных исследований в составе организационно-технических систем управления. Для решения этой проблемы широкое прикладное применение получила технология эксплуатации программных средств, средств вычислительной и измерительной техники, испытательного, научно-исследовательского и лабораторного оборудования на основе концепции мультиарендности [4–6].

Данная технология реализуется на основе создания многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем (МРИУС), функ-

ционирующих с временным разделением аппаратно-программных ресурсов между несколькими пользователями. В частности, прикладное применение данных систем как элементов системы управления обучением (LMS) в отраслевой системе подготовки кадров обеспечивает возможность параллельного выполнения экспериментальных исследований группе обучаемых в удаленном интерактивном режиме на базе единичных комплектов лабораторного и научного оборудования с индивидуальными параметрами и траекторией проводимых исследований, способствует высокотехнологичному развитию научно-образовательной среды, а также позволяет снизить реальную стоимость владения (развертывания, эксплуатации и обслуживания) высокотехнологичного оборудования посредством реализации экономической модели совместного потребления – sharing economy [7–12]. Данная модель получила новый виток развития в рамках цифровизации различных сфер человеческой деятельности.

На рис. 1 представлен пример обобщенной структурной схемы системы управления обучением (LMS), в которой проведение натуральных экспериментальных исследований реализуется на основе МРИУС. Таким образом, совершенствование МРИУС как элементов рассмотренных организационно-технических систем управления является актуальной задачей.

Предлагаемое решение

Совершенствование МРИУС предлагается реализовать посредством внедрения методологии их проектирования [12]. В соответствии с этим в основе методологии лежат принципы иерархичности, ограничения количества допустимых альтернатив и унификации, а процесс проектирования ведется с учетом двойственной специфики процесса функционирования МРИУС как автоматизированной измерительно-управляющей системы и как системы массового обслуживания. Рассмотрим подробнее данные принципы.

Суть принципа иерархичности заключается в декомпозиции и представлении структуры МРИУС в

виде совокупности типовых взаимодействующих аппаратных компонентов и комплекса базовых структур построения на их основе, формализации требований к типовым компонентам и дальнейшем их проектировании на основе общеизвестных подходов, методов и методик.

Суть принципа ограничения количества допустимых альтернатив заключается в локализации под множества проектных решений МРИУС на общем множестве альтернативных вариантов в соответствии с выделенными частными требованиями технического задания (ТЗ) – требованиями к оперативности функционирования.

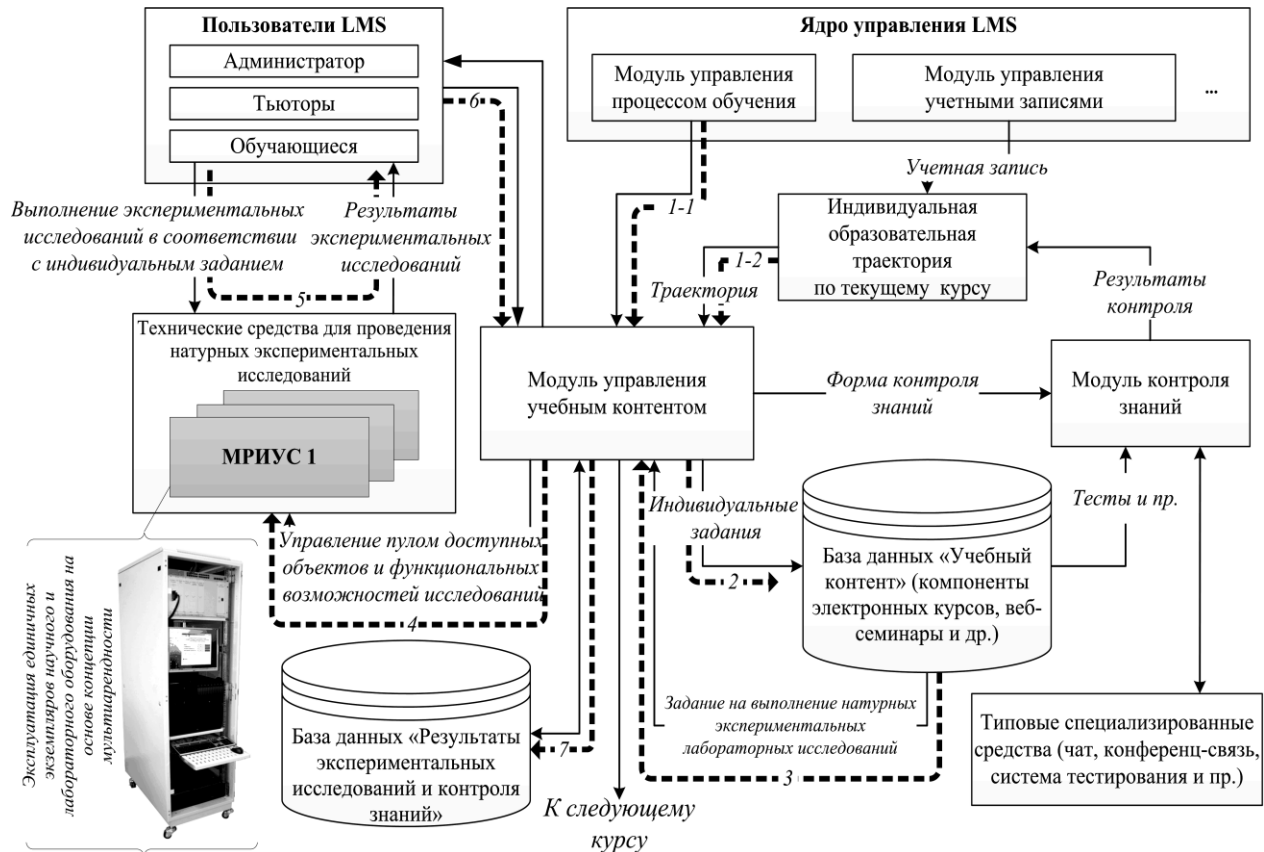


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы управления обучением на базе МРИУС как технических средств выполнения натурных экспериментальных исследований в режиме удаленного доступа

Суть принципа унификации заключается в типизации и симплификации аппаратных, программных, аппаратно-программных решений, положенных в основу формирования базиса аппаратных и программных решений, применяемых в процессе проектирования.

В соответствии с этим информационная модель проектного решения МРИУС в рамках методологии представляется в виде совокупности значений выделенного ряда описательных признаков

$$mrius_g = \{H_g, S_g, \Gamma_g, A_g\}, g = \overline{1, G}, \quad (1)$$

где H_g и S_g – множества аппаратного и программного обеспечения МРИУС, соответствующие множеству решаемых на ее основе пользовательских задач; Γ_g – граф, характеризующий соединение функциональных узлов и устройств, входящих в состав аппаратного обеспечения; A_g – реализуемый алгоритм диспетчеризации разделяемого ресурса; G – общее число проектных решений МРИУС, синтезируемых в процессе проектирования.

С учетом направленности прикладного применения МРИУС и основываясь на предложенном для многотерминальных вычислительных систем показателе их эффективности, а также определении термина «технический уровень продукции» [13, 14], в качестве критерия выбора проектного решения предлагается следующий обобщенный критерий оценки технического уровня:

$$\eta = C_1 / C_{N_T}^{\max} = C_1 \cdot N_T^{\max} / \delta \cdot C_\Sigma, \quad (2)$$

где C_1 – совокупность затрат на оснащение рабочего места пользователя с применением аналога проектируемой системы или прототипа (модернизируемого исходного комплекса, системы, установки и пр.); $C_{N_T}^{\max}$ – приведенные затраты на оснащение одного рабочего места пользователя в МРИУС; C_Σ – совокупность затрат на создание МРИУС; N_T^{\max} – максимальное число организуемых терминалов пользователей (рабочих мест) в МРИУС; δ – масштабный коэффициент, учитывающий возможное несоответствие функциональных возможностей аналога (прототипа) и разрабатываемой МРИУС.

В формализованном виде в терминах математической логики ключевые этапы процесса проектирования на основе описанных принципов в общем виде описываются выражениями (3)–(10).

Этап 1. Синтез альтернативных вариантов аппаратно-программного обеспечения МРИУС

$$\forall BS_r, f^{АПО} : \langle \mathbf{MT}, BS_r \rangle \mapsto \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{HS}_r^{BC} \\ \bigcup_{r=1}^{R^{BC}} \bigcup_{v_r=1}^{V_r^{BI}} \mathbf{REQ}_{v_r} \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где \mathbf{MT} – заданный в ТЗ перечень пользовательских функциональных задач, решаемых на основе проектируемой МРИУС, в составе соответствующей организационно-технической системы управления (рис. 1); BS_r – элемент множества (набора) выделенных базовых структур построения МРИУС:

$$BS_r \in \mathbf{BS}, \mathbf{BS} = \{BS_r | r=1, R^{BC}\}, \quad (4)$$

где $f^{АПО}$ – функциональное преобразование (отображение) пары $\langle \mathbf{MT}, BS_r \rangle$, \mathbf{HS}_r^{BC} – множество вариантов исполнения аппаратно-программного обеспечения для r -й базовой структуры построения МРИУС; \mathbf{REQ}_{v_r} – множество заданий пользователей, обеспечивающих решение \mathbf{MT} для текущей базовой структуры BS_r ; V_r^{BI} – число возможных вариантов исполнения аппаратно-программного обеспечения МРИУС для BS_r .

Этап 2. Оценка параметров сценария диалога

$$\forall \mathbf{HS}_r^{BC}, f^{CD} : \mathbf{HS}_r^{BC} \mapsto \mathbf{SD}_r^{BC}, \quad (5)$$

где \mathbf{SD}_r^{BC} – множество параметров сценариев диалога, реализуемых на основе \mathbf{HS}_r^{BC} ; f^{CD} – правило сопоставления элементов множества \mathbf{HS}_r^{BC} элементам множества \mathbf{SD}_r^{BC} .

Этап 3. Ограничение допустимых альтернативных проектных решений

$$\forall BS_r, \mathbf{SD}_r^{GP} = \mathbf{SD}_r^{OD3} \cap \mathbf{SD}_r^{GP}, \quad (6)$$

$$(f^{CD})^{-1} : \mathbf{SD}_r^{OD3} \mapsto \mathbf{HS}_r^{OD3}, \quad (7)$$

где \mathbf{SD}_r^{GP} – граничные параметры сценария диалога, рассчитанные с применением предложенной дополненной математической модели и реализующих ее адаптируемых программных модулей [15] для \mathbf{HS}_r^{BC} и заданного в ТЗ параметра оперативности функционирования МРИУС, \mathbf{SD}_r^{OD3} – множество, характеризующее область допустимых значений пар параметров сценария диалога, \mathbf{HS}_r^{OD3} – множество вариантов исполнения аппаратно-программного обеспечения МРИУС для r -й базовой структуры, удовлетворяющих заданным в ТЗ требованиям к оперативности функционирования.

Этап 4. Модификация проектных решений посредством применения методов повышения оперативности функционирования

$$\forall \text{mrius}_g, f^{\bar{\mathbf{M}}} : \text{mrius}_g \mapsto \text{mrius}_g^{\bar{\mathbf{M}}}, \quad (8)$$

$f^{\bar{\mathbf{M}}}$ – функция, характеризующая преобразование mrius_g посредством применения одного или сочетания нескольких разработанных методов повышения оперативности функционирования [16].

Этап 5. Оценка технических характеристик МРИУС

$$\text{mrius}_g \rightarrow \langle \mathbf{P}_g^T, C_{\Sigma, g} \rangle, \quad (9)$$

где \mathbf{P}_g^T – множество технических характеристик МРИУС (метрологические характеристики каналов, параметры оперативности, показатели использования разделяемого ресурса, характеристики конструктивно-технологической реализации, показатели надежности и др.), которые оцениваются на основе методик, реализуемых с применением САД/САМ/САЕ-систем; $C_{\Sigma, g}$ – совокупность затрат на создание МРИУС на текущего проектного решения.

Этап 6. Поиск рабочего проектного решения

$$\text{mrius}_{g^*} = \{ \mathbf{H}_{g^*}, \mathbf{S}_{g^*}, \mathbf{\Gamma}_{g^*}, \mathbf{A}_{g^*} \} \Big|_{n_{g^*} = \min\{n_g\}}, \quad (10)$$

где mrius_{g^*} – искомое проектное решение.

Для выбранного в качестве рабочего проектного решения выполняется выпуск соответствующей программной и конструкторской документации, которая совместно с техническими характеристиками МРИУС, описанием принципов работы с прикладными ПО, сведений о техническом обслуживании и пр. интегрируется в рамках интерактивного электронного руководства согласно ГОСТ 2.611–2011.

Варианты решения \mathbf{MT} на основе \mathbf{HS}_r^{BC} и соответствующие им длительности выполняемых функциональных операций управления объектом исследования и выполнения измерений предлагается размещать в базе знаний инженерных решений МРИУС. Также в состав такой базы знаний предлагается включить разработанные базовые структуры аппаратного построения МРИУС, алгоритмы диспетчеризации, реализующие предложенные методы повышения оперативности функционирования [16], базовые шаблоны проектирования графического интерфейса пользователя, а также разработанные базовые унифицированные виртуальные приборы, алгоритмы спектрального измерения параметров сигнала и реализующие их программные модули [17].

Таким образом, в целом повышение технического уровня проектируемых образцов МРИУС при использовании предлагаемых изложенных принципов обеспечивается за счет дополнения используемых математических моделей динамики функционирования, применения новых методов повышения

оперативности функционирования, сокращения сроков решения частных проектных задач, эффективно-го применения средств автоматизированного проектирования и пр.

Выводы

Синергетический эффект, получаемый при интеграции современных цифровых технологий в МРИУС, способствует глубокой трансформации бизнес-процессов в организационно-технических системах управления, использующих данные системы как составной элемент. В свою очередь предлагаемый методологический базис позволяет проектировать образцы МРИУС с улучшенными в среднем на 20–30% показателями технического уровня [16]. Ряд таких образцов внедрен и успешно используется в образовательном процессе ряда учреждений отраслевой системы подготовки кадров, а также в процессе испытаний бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов [12, 18, 19].

Литература

1. Белов М.В. Управление жизненными циклами организационно-технических систем / М.В. Белов, Д.А. Новиков. – М.: Ленанд, 2020. – 384 с.
2. ГОСТ Р 52653–2006. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2018.
3. ГОСТ Р 58675–2019. Автоматизированная система управления данными об изделии. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2019.
4. ГОСТ ISO/IEC 17788–2016. Информационные технологии (ИТ). Облачные вычисления. Общие положения и терминология. – М.: Стандартинформ, 2016.
5. ISO/IEC 30141:2018. Internet of Things (IoT) – Reference Architecture. – 2018.
6. ГОСТ Р 57721–2017. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Эксперимент виртуальный. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2017.
7. Remote triggered analog communication laboratory for e-learning / C.M. Markan, G. Kumar, S. Mittal, P. Gupta, S. Gupta, A. Satsangi, A. Gupta, G. Kapur // iJOE. – 2013. – Vol. 9, No. 5. – P. 48–55. DOI:10.3991/ijoe.v9i5S.2773
8. Laboratory as a Service (LaaS): a novel paradigm for developing and implementing modular remote laboratories / M. Tawfik, C. Salzmann, D. Gillet, D. Lowe, H. Saliyah-Hassane, E. Sancristobal, M. Castro // iJOE. – 2014. – Vol. 10, No. 4. – P. 13–21. DOI:10.3991/ijoe.v10i4.3654.
9. Липай Б.Р. Интернет-лаборатория Основы электротехники и электроники как пример современного учебного комплекса с удаленным доступом для открытого инженерного образования / Б.Р. Липай, С.И. Маслов // Вестник Моск. энергетического ин-та. – 2017. – № 2. – С. 71–76. DOI:10.24160/1993-6982-2017-2-71-76.
10. Ёхин М.Н. Организация многопользовательского удаленного доступа к распределенной гетерогенной системе лабораторного оборудования на основе схем программируемой логики для дистанционных практикумов по цифровой схемотехнике / М.Н. Ёхин, М.М. Степанов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13, № 4. – С. 65–81. DOI: 10.25559/SITITO.2017.4.425.
11. Комаров В.А. Многопользовательские распределенные измерительно-управляющие системы как элемент современной цифровой образовательной среды / В.А. Комаров, А.В. Сарафанов, С.Р. Тумковский // Информационно-управляющие системы. – 2019. – № 2. – С. 83–94. doi: 10.31799/1684-8853-2019-2-83-94.
12. Шерр А. Анализ вычислительных систем с разделением времени. – М.: Мир, 1970. – 136 с.
13. ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2009.
14. Komarov V.A. Simulation of the operation of multi-user distributed measurement and control systems / V.A. Komarov, A.V. Sarafanov // Measurement Techniques. – 2011. – Vol. 54, No. 2. – P. 129–134. DOI: 10.1007/s11018-011-9695-y.
15. Комаров В.А. Сравнение эффективности методов повышения пропускной способности экспериментального оборудования с удаленным доступом / В.А. Комаров, А.В. Сарафанов, С.Р. Тумковский // Информационно-управляющие системы. – 2019. – № 6. – С. 68–76. DOI: 10.31799/1684-8853-2019-6-68-76.
16. Glinchenko A.S. A system for the spectrally-weighted measurement of signal parameters / A.S. Glinchenko, V.A. Komarov // Measurement Techniques. – 2011. – Vol. 54, No. 1. – P. 74–80. DOI: 10.1007/s11018-011-9687-y.
17. Сарафанов А.В. Изучение физических эффектов с использованием дистанционных технологий / А.В. Сарафанов, В.А. Комаров, Д.Ю. Худоногов, А.Г. Суковатый // Информатизация образования и науки. – 2012. – № 4(16). – С. 49–63.
18. Komarov V.A. Method for qualification testing of satellite-communication earth stations / V.A. Komarov, S.O. Pazerin, A.V. Sarafanov // Measurement Techniques. – 2016. – Vol. 59, No. 1. – P. 8–11. DOI: 10.1007/s11018-016-0907-3.
19. Комаров В.А. Разработка архитектуры эмулятора интерфейсных модулей сопряжения систем жизнеобеспечения космических аппаратов / В.А. Комаров, П. В. Семкин // Сибирский журнал науки и технологий. – 2019. – Т. 20, № 2. – С. 228–235. DOI: 10.31772/2587-6066-2019-20-2-228-235.

Комаров Владимир Александрович

Канд. техн. наук, доцент, начальник группы управления проектирования космических систем и комплексов связи, ретрансляции информации и специального назначения АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнева»
Ленина ул., д. 52, г. Железнодорожск, Россия, 662972
ORCID: 0000-0001-9210-9908
Тел.: +7 (391-9) 72-24-39, доб. 83-92
Эл. почта: vkomarov@iss-reshetnev.ru

Сарафанов Альберт Викторович

Д-р техн. наук, профессор, директор по развитию бизнеса ООО «Витте Консалтинг» (Группа компаний «Ай-теко») Кедровая ул., д. 15, г. Москва, Россия, 117036
ORCID: 0000-0003-4264-9388
Тел.: +7 (495-7) 77-10 95
Эл. почта: sarafanov@i-teco.ru

УДК 004.42

Е.В. Грива, Р.С. Кульшин, С.В. Коновалов

Разработка чат-бота для помощи в выявлении симптомов, прогнозирования и предотвращения распространения коронавирусной инфекции

В настоящее время огромное значение имеет прогнозирование темпов распространения коронавирусной инфекции для управления ситуацией и принятия решений. В связи с загруженностью больниц вовремя не удается выявить первые симптомы инфекции и принять меры по их облегчению, а также узнать вероятность наличия заболевания у людей, находящихся в зоне риска. Для решения этих проблем разрабатывается программное обеспечение на базе чат-ботов для социальных сетей и мессенджеров, позволяющее проводить опрос на наличие симптомов, прогнозировать риск заражения у людей, контактировавших с заболевшими, а также темпы распространения коронавирусной инфекции.

Ключевые слова: чат-боты, ВКонтакте, моделирование, коронавирус, социальный граф.

В настоящее время огромное значение имеет прогнозирование темпов распространения коронавирусной инфекции для управления ситуацией и принятия решений. Каждый день количество заражений в России и в мире, к сожалению, только растет, часто люди не знают, что у них инфекция, а больницы перегружены. Многие люди находятся в постоянном риске заражения. Для решения этой проблемы разрабатывается чат-бот, базирующийся на социальной сети «ВКонтакте».

Чат-бот – это программа, ведущая диалог с пользователем по определенным сценариям внутри социальной сети. Зачастую чат-боты способны заменять собой целые мобильные приложения и сайты, а опыт работы с ними максимально прост и удобен, нужен только аккаунт социальной сети.

Система состоит из двух частей [1]. Первая часть – бот пользователя, вторая – программа, обучающаяся на ответах пользователей и улучшающая оценку риска, а также строящая социальный граф и моделирующая дальнейшую степень распространения коронавирусной инфекции. Для хранения данных используется СУБД PostgreSQL [2].

Бот может использовать один тип пользователей. Основными пользователями бота являются обычные люди, которые желают узнать статистику распространения вируса в своем регионе, желающие найти ближайшую лабораторию для сдачи анализа, а также желающие проверить свои симптомы для оценки риска заражения.

Чат-бот работает на базе социальной сети «ВКонтакте». Программа взаимодействует с API социальной сети для ведения диалога с пользователем [3, 4]. Работу с чат-ботом можно продолжить в любое время, он не останавливается и не забывает диалог [5, 6].

Взаимодействие пользователя с платформой

После прохождения автоматической регистрации пользователь может просматривать статистику распространения вируса в каждом регионе России. Второй функцией является поиск ближайших лабораторий для сдачи анализа на коронавирус. В чат-боте содержится постоянно пополняемый список лабораторий, с помощью геолокации пользователь

может найти ближайшую либо все лаборатории в населенном пункте. Ключевой функцией бота является опросник, созданный на основе рекомендаций Всемирной организации здравоохранения. После прохождения опроса о симптомах пользователь получает оценку риска заражения инфекцией, а также рекомендации по дальнейшим действиям. После прохождения опроса пользователь также может ответить на вопрос о результатах анализа на коронавирус. Если результат оказался положительным, пользователь получает возможность отметить людей из списка друзей в социальной сети, с которыми он контактировал. В свою очередь, друзьям придет анонимное уведомление о том, что кто-то из друзей подтвердил свой диагноз, а также придут рекомендации по дальнейшим действиям. Последней функцией бота является список часто задаваемых вопросов и ответов на них.

Алгоритм оценки риска заражения

Разработанный алгоритм включает в себя модель оценки вероятности заболевания, основанную на 11 параметрах-факторах риска заболевания. Алгоритм для вычислений использует обучаемую модель данных, изначально заполненную из общедоступной мировой статистики. Обучение происходит за счёт данных пользователей после подтверждения или опровержения теста на COVID-19 и уведомления системы об этом. По мере работы бота модель совершенствуется и отклонение по каждому критерию становится максимально близкое к нулю, так как с каждым изменением коэффициент влияния начинает сокращаться. После прохождения теста в чат-боте алгоритм принимает ответы. Далее происходит произведение ответов пользователей и параметров-факторов. Затем происходит суммирование этого произведения, и получается результат по 100-балльной шкале. После этого алгоритм относит пользователя к одной из пяти групп риска.

Моделирование распространения инфекции

В качестве базовой модели для предсказания числа заболевших используется модель SIERD.

Для моделирования SIERD использует разделение населения на пять групп: восприимчивые, с бо-

лезню в инкубационном периоде, больные, выздоровевшие, умершие. Также используется общая численность населения.

Данные для модели SIIRD изначально взяты из открытых источников, а также применялась текущая реальная статистика.

Полученные результаты прогнозирования имеют среднее отклонение от реальной статистики в 6–7%.

Новизна предлагаемого решения

Чат-боты являются новой модной технологией, призванной проводить работу с пользователем без установки дополнительного программного обеспечения и не зависимо от платформы, необходим только аккаунт социальной сети [5–7].

Через чат-бота быстро и без регистрации можно проверить риск заражения, получить рекомендации и получить актуальную информацию по текущей ситуации с коронавирусом.

Построение социальных связей позволяет предупредить риск дальнейшего распространения инфекции у людей, контактировавших с заболевшими [8, 9].

Самообучающийся алгоритм оценки риска постоянно переоценивает коэффициенты симптомов, что позволяет давать более точные результаты.

Имеющиеся аналоги

В ходе поиска были выявлены следующие аналоги.

1. Государственные и международные сайты на которых можно пройти опрос и получить оценку риска. Их минусом является то, что они достаточно редко обновляются и могут использовать устаревшие данные.

2. Коммерческие и любительские интернет проекты, зачастую имеют высокую цену и могут использовать устаревшие данные.

В перспективе функционал системы будет развиваться, будут открываться новые области применения системы и использоваться новые технологии. Планируется добавление в систему новых мессенджеров. После массового тестирования системы на большом количестве реальных пользователей будут сделаны выводы об эффективности работы опросника, корректности результатов работы модели прогнозирования распространения и работы социального графа, который оповещает пользователей о заболевших друзьях.

Литература

1. Мартин Роберт. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения: пер. с англ. – СПб.: Питер, 2018. – 352 с.

2. Сенченко П.В. Организация баз данных: учеб. пособие. – Томск: ФДО, ТУСУР, 2015. – 170 с.

3. Telegram Bot API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://core.telegram.org/bots/api> (дата обращения: 12.09.2019).

4. ВКонтакте Callback API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.com/dev/callback_api (дата обращения: 07.03.2019).

5. Грива Е.В. Разработка автоматизированной информационной системы сбора, анализа и хранения данных о бронировании и заказах для малых предприятий, работающих в сфере оказания услуг / Е.В. Грива, Р.С. Кульшин, С.В. Коновалов / Матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019» (Томск, 22–24 мая 2019 г.). – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 3. – С. 139–142.

6. Грива Е.В. Разработка автоматизированной информационной системы сбора, анализа и хранения данных о бронировании и заказах для малых предприятий, работающих в сфере оказания услуг / Е.В. Грива, С.В. Коновалов, Р.С. Кульшин // Инноватика–2019: сб. матер. XV Междунар. школы-конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Инноватика–2019», Томск, 25–27 апреля 2019 г. – Томск: STT, 2019. – С. 366–369.

7. Грива Е.В., Кульшин Р.С., Коновалов С.В. Разработка платформы оказания паллиативной помощи // Матер. докл. XV Междунар. науч.-практ. конф., 20–22 ноября 2019 г.: в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2019. – С. 153–155.

8. Грива Е.В., Кульшин Р.С., Коновалов С.В. Разработка чат-бота для организации волонтерских мероприятий, управления проектами и взаимодействия с сообществом // «Инноватика–2020»: сб. матер. XVI Междунар. школы-конф. студентов, аспирантов, молодых ученых, Томск, 23–25 апреля 2020 г. – Томск: STT, 2020. – С. 328–331.

9. Грива Е.В., Кульшин Р.С., Коновалов С.В. Разработка чат-бота для организации волонтерских мероприятий, управления проектами и взаимодействия с сообществом // Матер. докл. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2020», Томск, 25–27 мая 2020 г. – Томск: В-Спектр, 2020. – С. 256–261.

Грива Егор Владимирович

Студент каф. автоматизированных систем управления (АСУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

Фёдора Лыткина ул., д. 10, г. Томск, Россия, 634045

Тел.: +7-923-776-83-17

Эл. почта: GEVne@yandex.ru

Кульшин Роман Сергеевич

Студент каф. АСУ ТУСУРа

Фёдора Лыткина ул., д. 10, г. Томск, Россия, 634045

Тел.: +7-923-721-35-98

Эл. почта: kulshinroman@mail.ru

Коновалов Степан Вячеславович

Студент каф. АСУ ТУСУРа

Фёдора Лыткина ул., д. 10, г. Томск, Россия, 634045

Тел.: +7-999-619-26-40

Эл. почта: stepkon1999@mail.ru

УДК 004.42

Е.В. Грива, Р.С. Кульшин, С.В. Коновалов

Разработка чат-бота для проведения голосований за общественные инициативы и поиска лидеров мнений

Существует необходимость в проведении интернет-голосований за общественные инициативы. Новое поколение редко заходит на государственные сайты и не просматривает СМИ, вследствие чего редко голосует за инициативы и не проявляет свою гражданскую позицию. Дебаты об инициативах перенеслись в группы в социальных сетях и мессенджеры, но зачастую организаторы и местное самоуправление их не рассматривают и не принимают всерьез. Чаще всего позиция народа формируется лидерами мнений, но их действия не всегда прозрачны. Для решения этих проблем разрабатывается программное обеспечение на основе технологии чат-ботов.

Ключевые слова: чат-боты, ВКонтакте, инициативы, лидеры мнений.

В настоящее время большая часть граждан не вовлечена в общественно-политическую деятельность. Обсуждение проблем происходит в группах в социальных сетях, но чаще всего на этом все и заканчивается. Люди не заинтересованы продвигать свою гражданскую позицию органам местного самоуправления, а, в свою очередь, органы не получают информацию о гражданских запросах и инициативах из социальных сетей. Но существует группа инициативных людей, называемых лидерами мнений, однако не существует инструментов для их выявления и последующей связи с ними. За счет лидеров мнений часто формируются новые инициативы и гражданская позиция.

Чат-бот – это программа-собеседник, работающая внутри мессенджера или социальной сети. Программа способна вести диалог с пользователями по заранее прописанному сценарию и по сути заменять собой целые мобильные приложения и сайты. Также чат-бот может анализировать действия, происходящие в социальной сети, и выполнять определенные действия.

Система состоит из двух частей [1]. Первая часть – бот пользователя, вторая – программа-анализатор действий в группах социальных сетей. Для хранения данных используется СУБД PostgreSQL [2].

Бот могут использовать несколько типов пользователей. Основными пользователями бота являются: обычные граждане, которые могут сами проголосовать за инициативы или отдать свой голос человеку, которого гражданин считает лидером общественного мнения; лидеры общественного мнения, которые при наличии поддержки от граждан могут создавать новые инициативы; администратор – который проверяет инициативы на спам и одобряет голосование за них, а также следит за действиями пользователей.

Вся платформа работает на базе социальной сети «ВКонтакте» и мессенджера Telegram. Программа взаимодействует с API каждого мессенджера, а именно Telegram [3] и VK [4]. Граждане могут выполнять действия в обоих мессенджерах через единый аккаунт [5, 6].

Применение искусственного интеллекта в принятии решений

Для определения реакций общества в группах в социальных сетях используется нейронная сеть для

определения тональности комментариев и постов пользователей.

Нейронная сеть оценивает настроения в комментариях, положительные они или отрицательные. Анализирует комментарии на предмет поиска критики, новых инициатив или пожеланий. Впоследствии самые значимые отправляются администратору в виде сообщения-уведомления.

Данная нейронная сеть относится к классу CNN (сверточная нейронная сеть). Разработана на языке программирования Python и библиотек Keras и TensorFlow.

Нейронная сеть преобразовывает текст комментариев и постов к векторному представлению и затем выполняет сентемент-анализ.

Все это помогает администратору следить за настроениями в обществе и отслеживать граждан с наиболее активной гражданской позицией, а также в случае чего найти и ответить на необходимые вопросы граждан.

Взаимодействие пользователей с платформой

Пользователями являются гражданин, администратор.

После прохождения автоматической регистрации гражданин получает право голосовать за инициативы, которые можно просмотреть прямо в боте. Также гражданин может передавать свой голос другим пользователям. Граждане с большим количеством полученных голосов могут создавать инициативы и следить за количеством голосов. Также гражданин с большим количеством голосов может передать все голоса другому лидеру мнений. Гражданин, отдавший свой голос другому лицу, в любой момент может вернуть свой голос себе, даже если он уже передан другому лицу по цепочке. Имеется возможность просматривать, кому пользователь отдал свой голос, что позволяет избежать накрутки и обеспечивает полную прозрачность системы.

Администратор, в свою очередь, может просматривать рейтинг пользователей и выделять наиболее активных лидеров общественного мнения. Также администратор модерирует инициативы, созданные пользователями, и допускает их до голосования. Также администратор может добавлять сообщества в программу, следить за постами, комментариями и настроением подписчиков.

Сам бот по истечении времени голосования создает и публикует подробный пост о результатах голосования. Бот анализирует выбранные администратором сообщества и дает рекомендации и уведомления о важных обсуждениях.

Новизна предлагаемого решения

Чат-боты являются новой модной технологией, призванной проводить работу с пользователем без установки дополнительного программного обеспечения и независимо от платформы, необходим только аккаунт социальной сети. Вся информация, поступающая в чат-бот, обрабатывается исключительно на сервере, что снимает нагрузку с устройств пользователя. Обработка данных через чат-бота также обеспечивает полную безопасность, так как невозможно отследить сервер, на котором он базируется [5–7].

Увеличение скорости взаимодействия с гражданами и лидерами общественного мнения позволяет привлечь больше участников к голосованию и отобразить только действительно необходимые инициативы в максимально прозрачном виде [8, 9].

Также немаловажным является отслеживание лидеров общественного мнения для дальнейшего сотрудничества с ними и отслеживание настроений в обществе.

Имеющиеся аналоги

В ходе поиска были выявлены следующие аналоги.

1. Муниципальные сайты и ресурсы – зачастую редко обновляются, не рекламируются и не используются большинством населения.

2. Петиции и сайты для их сбора – весьма популярны, но не локальны. Из-за этого инициативы могут быть не замечены как гражданами, так и чиновниками.

3. Городские группы в социальных сетях – их основная проблема в отсутствии взаимодействия между гражданами и муниципальной администрацией, многие инициативы теряются или остаются незамеченными.

В перспективе функционал системы будет развиваться, будут открываться новые области применения системы и использоваться новые технологии, добавляя в систему новых мессенджеров, будут сделаны выводы об эффективности голосования через социальные сети и отслеживания лидеров мнений. Все это в конечном счете приведет к созданию универсальной платформы для общественных инициатив.

Литература

1. Мартин Роберт. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения: пер. с англ. – СПб.: Питер, 2018. – 352 с.

2. Сенченко П.В. Организация баз данных: учеб. пособие. – Томск: ФДО, ТУСУР, 2015. – 170 с.

3. Telegram Bot API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://core.telegram.org/bots/api> (дата обращения: 12.09.2019).

4. ВКонтакте Callback API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.com/dev/callback_api (дата обращения: 07.03.2019).

5. Грива Е.В. Разработка автоматизированной информационной системы сбора, анализа и хранения данных о бронировании и заказах для малых предприятий, работающих в сфере оказания услуг / Е.В. Грива, Р.С. Кульшин, С.В. Коновалов // Матер. междунар. науч.-техн. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2019» (Томск, 22–24 мая 2019 г.). – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 3. – С. 139–142.

6. Грива Е.В. Разработка автоматизированной информационной системы сбора, анализа и хранения данных о бронировании и заказах для малых предприятий, работающих в сфере оказания услуг / Е.В. Грива, С.В. Коновалов, Р.С. Кульшин // Инноватика–2019: сб. матер. XV Междунар. школы-конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Инноватика–2019». – Томск, 25–27 апреля 2019 г. – Томск: STT, 2019. – С. 366–369.

7. Грива Е.В., Кульшин Р.С., Коновалов С.В. Разработка платформы оказания паллиативной помощи // Матер. докл. XV Междунар. науч.-практ. конф. – 20–22 ноября 2019 г.: в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2019. – С. 153–155.

8. Грива Е.В., Кульшин Р.С., Коновалов С.В. Разработка чат-бота для организации волонтерских мероприятий, управления проектами и взаимодействия с сообществом / «Инноватика–2020»: сб. матер. XVI Междунар. школы-конф. студентов, аспирантов, молодых ученых. – Томск, 23–25 апреля 2020 г. – Томск: STT, 2020. – С. 328–331.

9. Грива Е.В., Кульшин Р.С., Коновалов С.В. Разработка чат-бота для организации волонтерских мероприятий, управления проектами и взаимодействия с сообществом / Матер. докл. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2020», Томск, 25–27 мая 2020 г. – Томск: В-Спектр, 2020. – С. 256–261.

Грива Егор Владимирович

Студент каф. автоматизированных систем управления (АСУ) ТУСУР

Фёдора Лыткина ул., д. 10, г. Томск, Россия, 634045

Тел.: +7-923-776-83-17

Эл. почта: GEVne@yandex.ru

Кульшин Роман Сергеевич

Студент каф. АСУ ТУСУРа

Фёдора Лыткина ул., д. 10, г. Томск, Россия, 634045

Тел.: +7-923-721-35-98

Эл. почта: kulshinroman@mail.ru

Коновалов Степан Вячеславович

Студент каф. АСУ ТУСУРа

Фёдора Лыткина ул., д. 10, г. Томск, Россия, 634045

Тел.: +7-999-619-26-40

Эл. почта: stepkon1999@mail.ru

УДК 004.622:316.454

С.А. Кузнецов, А.Д. Вильнин

Подход к автоматизированному поиску ультраправых сообществ в социальных сетях на основе календарной активности

Одной из актуальных задач современности является разработка методов и программных средств эффективного анализа открытых данных социальных сетей. В рамках настоящей работы авторами приведены промежуточные результаты работ в области создания инструментария для автоматизации исследований онлайн-радикализации. Спроектирован и реализован алгоритм автоматизированного поиска и анализа ультраправых сообществ в социальных сетях. Представлены результаты апробации на данных социальной сети «ВКонтакте». Прикладная значимость полученных результатов заключается в сокращении трудозатрат этапа первичного сбора информации социальных сетей для исследований в области общественно-политических наук.

Ключевые слова: календарно-корреляционный анализ, ультраправые сообщества, ключевое слово, ключевая дата, база знаний.

В настоящее время разработка программного обеспечения и научные исследования в области информационных и коммуникационных технологий определяются Стратегией развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 гг. [1]. Обеспечение информационной безопасности граждан РФ определяется одной из ключевых задач в стратегии развития информационного общества в РФ и также является одной из основных задач Комплексного плана противодействия идеологии терроризма в Российской Федерации на 2019–2023 гг. Риски распространения терроризма, идеологического экстремизма и другие виды угроз, возникающие в информационном поле социальных медиа, особенно опасны для молодежи всех возрастных категорий. Радикализация молодежи – опасный феномен, и данный процесс сегодня приобретает массовый, масштабируемый, вирусный характер. Заражение любого вида деструктивными идеями происходит в социальных сетях, скорость распространения радикальных идей возрастает за счет использования информационно-коммуникационных технологий [2, 3]. Онлайн-радикализация – это процесс в социальных сетях, при котором к пользователям применяются технологии деструктивного информационно-психологического воздействия (ДИПВ) [4]. Для изучения ДИПВ актуальность приобретают инструменты social mining (междисциплинарная исследовательская область, направленная на интеграцию и адаптацию методов анализа социальных медиа). Как отмечают исследователи в области социальных наук, возрастает число инцидентов террористической, экстремистской направленности, совершенных на ультраправой идеологической платформе.

Ультраправые сообщества

Ультраправые сообщества в научно-исследовательском поле чаще всего называют движением или идеологической платформой. Но сам феномен еще не получил единого универсального названия, не устоялись различные варианты обозначений. Поэтому исследователи как в российском, так и в зарубежном поле применяют термины «крайне правый», «радикально правый», «ультраправый» как тожде-

ственные понятия. В рамках данной работы мы применяем термин «ультраправые», подразумевая, что приставка «ультра» означает именно ту группу радикально настроенных членов сообществ, которые принимают и продвигают идею о необходимости и возможности применения насилия для достижения цели. Данный вид радикализма относится к категории насильственного экстремизма. В правовом поле такой вид действий оценивается по уровню опасности действий для общества и государства и попадает под действующие законодательные акты РФ.

Общие черты в диапазоне общедоступных трактовок ультраправых, по материалам российских и зарубежных исследований, следующие:

- убеждение в неполноценности одних и превосходстве других индивидов и групп;
- продвигают «национальные предпочтения» (отсюда национализм);
- рассматривают социальное неравенство как неизбежное и естественное.

Выбор цели ультраправых – это объекты, которые они рассматривают в качестве врагов. Ими могут быть иммигранты, меньшинства, политические оппоненты или правительства. Вандализм и стихийное насилие, предвзятость и ненависть к определенным категориям людей (религиозные, расовые, сексуальные, гендерные или другие мотивы), поощрение насилия – характерные проявления ультраправых.

Исследовательская гипотеза

Для сообществ ультраправой идеологической платформы является характерным чувствование значимых для сообщества персон и событий, а также дат, связанных с ними.

Нами была сформулирована гипотеза о том, что оценка календарной активности сообществ в социальной сети при наличии информации, характеризующей знаковые для ультраправой идеологической платформы даты, может являться эффективным инструментом для автоматизации процесса их поиска.

База знаний

Разрабатываемый алгоритм проверяет необработанные данные – тексты постов, извлеченные из сообществ социальной сети, используя базу знаний,

которая содержит predeterminedные наборы ключевых слов. Для создания исходного набора и построения модели классификатора методы, как правило, требуют формирования словаря с помеченными ключевыми словами. Основной задачей базы знаний является содержание информации о значимых ключевых датах и связанных с ними ключевых словах для разных классов сообществ.

Следует отметить, что при соответствующих изменениях в базе знаний возможен поиск сообществ различных классов. Наполнение базы знаний информацией по сообществам разных классов позволит изучить характер и силу их взаимосвязей и взаимного влияния.

Календарно-корреляционный анализ (ККА) или алгоритм анализа календарной активности сообщества

Для поиска целевых сообществ в социальной сети «ВКонтакте» был спроектирован и реализован алгоритм календарно-корреляционного анализа активности сообществ, использующий информацию, хранимую в предварительно сформированной базе знаний. Принцип работы алгоритма приведен на рис. 1 и заключается в следующем:

1. Запрос записей анализируемого сообщества из социальной сети «ВКонтакте», используя стандартный метод библиотеки «ВКонтакте» `wall.get`, за временной интервал 1 календарный год [5].

2. Поиск записей для каждой ключевой даты и анализ на количество встречаемых ключевых слов в данной ключевой дате. Запись результата.

3. Анализ полученных записей сообщества за один календарный год на количество встречаемых ключевых слов. Результат – сколько каждое ключевое слово встречается в записях за один календарный год, общее количество встречаемых ключевых слов за один календарный год. Запись результата.

4. Выставление экспертом порога по количеству найденных записей, соответствующих ключевым датам, и общему количеству найденных ключевых слов в записях сообщества за один календарный год.

5. Анализ результатов на превышение порога.

6. Вывод результата.

Апробация алгоритма ККА

Для оценки эффективности работы алгоритма были выполнены тестовые испытания.

В рамках первого испытания осуществлен поиск сообществ по подготовленным формализованным ключевым словам (49 слов). Найдено 6 151 сообщество. Сообщества проверены методом ККА, который указал только на 3 сообщества. Все они относятся к ультраправым сообществам.

При втором испытании был проверен список из 259 сообществ, выбранных экспертным способом. Из указанного списка ККА «сработал» на 49 сообществах.

В рамках третьей проверки алгоритма были выбраны 50 наиболее популярных сообществ по версии «ВКонтакте», которые экспертным способом были проверены на отсутствие их принадлежности к ультраправым. Апробация показала, что на данных сообществах алгоритм сработал лишь на одном.

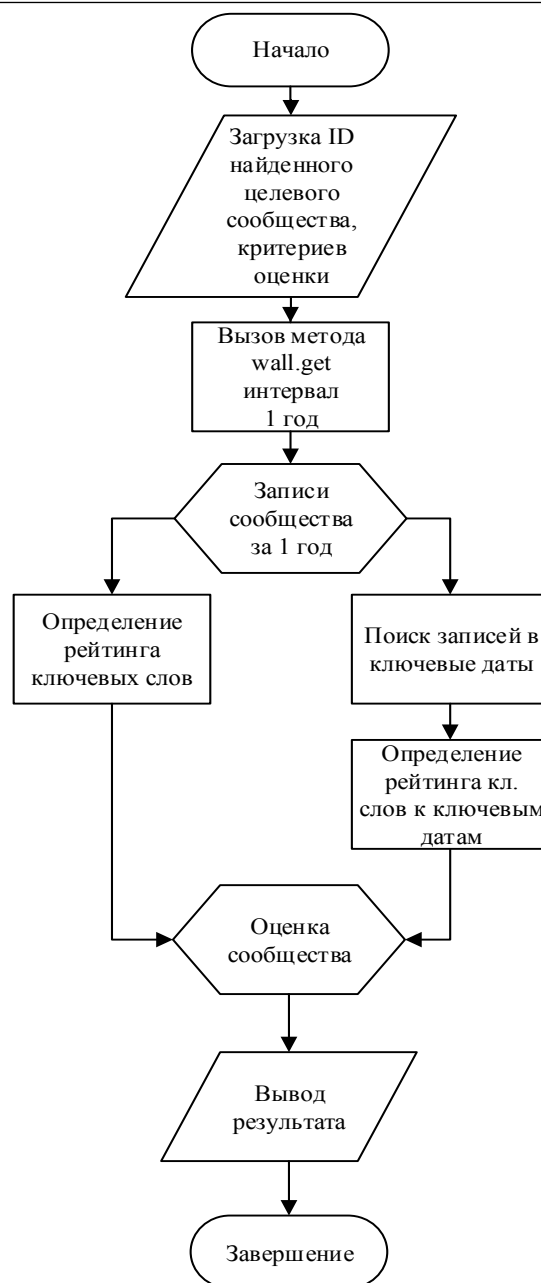


Рис. 1. Обобщенная схема ККА

Эффективность работы алгоритма может также быть проиллюстрирована через значения ошибок первого и второго рода. Они могут быть вычислены для второй и третьей проверок, поскольку априорная информация о степени принадлежности к целевым сообществам из 6 151 группы, найденным по ключевым словам, отсутствует. В качестве нулевой гипотезы H_0 примем, что анализируемое ВК-сообщество не содержит признаков принадлежности к ультраправым сообществам. Соответственно, альтернативная гипотеза – H_1 – ВК-сообщество содержит признаки принадлежности.

В рамках второй проверки гипотеза H_0 была ошибочно принята в 210 случаях, гипотеза H_1 , соответственно, верно принята в 49. Таким образом, вероятность ошибки второго рода равна $\beta = 0,81$ и мощность критерия $(1 - \beta) = 0,19$.

В качестве дополнительной проверки была оценена ошибка второго рода для каждого класса тех же ультраправых сообществ. Результаты приведены в таблице. Сравнительно низкое значение мощности критерия для всей совокупности сообществ объясняется неполнотой информации, представленной в базе знаний и описывающей ключевые даты и ключевые слова ультраправых сообществ.

В рамках третьей проверки гипотеза H_0 была правильно принята в 49 случаях, а гипотеза H_1 была ошибочно принята в одном случае, т.е. вероятность ошибки первого рода равна $\alpha = 0,02$.

Ошибка второго рода и мощности критерия для разных классов сообществ

Класс сообществ	β	(1- β)	Кол-во сообществ
Национал-демократы	0,375	0,625	8
Неонацисты	0	1	1
Неоязычники	0,91	0,09	67
Нацисты	0,33	0,67	3
Alt-right	0,67	0,33	6
Национал-социалисты	0	1	1
Правые	0,82	0,18	132
МАНОСФЕРА	0,95	0,05	19
Неопределённые	0,86	0,14	22

Заключение

Результаты работы показали, что данные о календарной активности сообществ могут быть эффективным критерием автоматизированной оценки принадлежности к ультраправой идеологии при наличии соответствующей базы знаний.

Разработанный алгоритм ККА может использоваться в виде дополнительного инструмента, позволяющего сузить круг результатов, которые мы получаем при поиске по ключевым словам.

ККА позволяет найти сообщества, наиболее активные либо наиболее явно соответствующие ультраправой идеологической платформе.

Сравнительно низкая точность алгоритма интерпретируется нами как результат неполноты информации, представленной в базе знаний. Дополнительно это подтверждается тем, что по отдельным классам ультраправой идеологической платформы точность алгоритма выше. Таким образом, можно сделать вывод о том, что различные классы сообществ реагируют и чувствуют различные даты и связанные с ними ключевые слова и добиться большой точности можно при доработке существующей базы знаний и разработке правил её пополнения и сопровожения.

Одной из основных проблем автоматизации социологических и политологических исследований с использованием данных социальных сетей является высокая трудоёмкость начального процесса поиска ультраправых сообществ. Адаптация реализации применения алгоритма ККА позволит сократить трудоёмкость первичного этапа работ и может быть

использована в качестве предварительного этапа для таких исследований, как:

- изучение и моделирование процессов информационной диффузии в социальных сетях;
- оценка реакции аудитории студентов и абитуриентов на новости и события;
- поддержка процессов продвижения актуальной информационной повестки;
- поиск целевых сообществ абитуриентов для повышения эффективности приемной кампании.

Результаты работы применимы в области поддержки принятия решений при проведении социологических и политологических исследований, в том числе при изучении вопросов информационной безопасности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ГЗ «Наука» в рамках проекта FSWW-2020-0014.

Литература

1. Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/>, свободный (дата обращения: 15.09.2020).
2. Manuels C. Radical Right Movement Parties in Europe / C. Manuels, O. Cisar. – Abingdon: Routledge, 2018. – 246 с.
3. Inter-ideological mingling: White extremist ideology entering the mainstream on Twitter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02732173.2015.1075927>, свободный (дата обращения: 15.09.2020).
4. Карпова А.Ю. Модели построения профилей радикалов для прогнозирования инцидентов террористической и экстремистской направленности: докл. на XI Всерос. межведом. науч. конф. «Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд органов государственной власти Российской Федерации», 5–6 февраля 2019 г., Академия ФСО России.
5. Список методов социальной сети «ВКонтакте» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vk.com/dev/wall.get>, свободный (дата обращения: 15.09.2020).

Кузнецов Сергей Анатольевич

Инж.-исследователь Инженерной школы информационных технологий и робототехники (ИШИТР) Томского политехнического университета (НИ ТПУ)
Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-17-77, доп. 3436
Эл. почта: ksa11@tpu.ru

Вильнин Александр Данилович

Канд. техн. наук, программист ИШИТР НИ ТПУ
Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-17-77 доп.1943
Эл. почта: VilninAD@tpu.ru

УДК 681.51:004.82

А.Ю. Кайда, А.О. Савельев

Применение графовой визуализации данных в системах поддержки принятия решений для решения задач автоматизации проведения исследований

Описывается применение инструментов и подходов графовой визуализации данных как часть data mining процессов. Описываются гипотезы поиска неявных связей между сущностями на базе сущностей-ссылок, а также поиска ключевых связей на примере социологических исследований. Графовая визуализация является доступным способом отражения полученных из массива сырых данных знаний, которые впоследствии могут быть использованы экспертом своей предметной области для решения задач в рамках определенного исследования. Авторы статьи утверждают, что модуль графовой визуализации может быть частью систем поддержки принятия решений в таких исследованиях.

Ключевые слова: data mining, визуализация, графы, поддержка принятия решений.

Системы поддержки принятия решений (ССПР) – автоматизированная система, цель которой – помочь пользователю в оценке сложных условий и принятии решений, исходя из данных условий. СППР решают две основные задачи: задачу выбора наилучшего решения из предложенных (задача оптимизации) и задачу упорядочения возможных решений, исходя из того, насколько решение предпочтительно (задача ранжирования) [1]. Для анализа и выработок предположений в СППР используются различные подходы, одним из которых является data mining, вобравший в себя широкий спектр инструментов для работы с данными.

Data mining, или интеллектуальный анализ данных, – процесс «добычи данных», получения полезной информации для исследования из сырых данных. Данный процесс охватывает множество областей – от классического статистического анализа до вопросов применения методов машинного обучения. Конечная цель интеллектуального анализа данных – поиск скрытых закономерностей в больших массивах данных [2]. Интеллектуальный анализ данных, или data mining, – молодая междисциплинарная область информатики о методах извлечения полезных знаний из крупных хранилищ данных. На сегодняшний день методы интеллектуального анализа данных имеют широкое применение в различных сферах, таких как промышленность, наука, техника и менеджмент. Интеллектуальный анализ данных служит основой для построения аналитических систем в области коммуникаций, образования, банкинга, страхования, промышленности и розничной торговли. Являясь сплавом дисциплин, данная дисциплина объединяет в себе большой набор методов и техник, способных отвечать на различные типы вопросов и в разной степени использовать участие человека в процессе принятия решений.

Обнаружение знаний, или KDD, является ранней формой понятия интеллектуального анализа данных и выражается в нетривиальном способе извлечения ранее неизвестной и потенциально полезной информации в базах данных. Согласно пирамиде Акоффа (или DIKW-пирамиде) [3], сырые данные

являются базисом, из которого можно извлечь полезную информацию и впоследствии получить некоторое знание.

Несмотря на то, что KDD не является новой технологией, именно основные этапы данного процесса заложены в понятие интеллектуального анализа данных. Процесс обнаружения знаний состоит из нескольких этапов преобразования сырых данных в некоторую форму новых знаний:

1. Очистка данных от «шума» и удаление нерелевантных данных из коллекции.
2. Интеграция данных из нескольких источников в один общий ресурс.
3. Выбор данных для анализа и их извлечение из коллекции.
4. Преобразование данных, или консолидация, в форму, пригодную для анализа.
5. Интеллектуальный анализ данных и поиск нужного паттерна – тенденций, присущих текущему набору данных.
6. Оценка выявленных тенденций.
7. Представление знаний посредством визуализации для конечного пользователя.

Некоторые из обозначенных шагов, такие как интеграция и фильтрация данных, могут выполняться одновременно на стадии предварительной обработки данных. KDD является итеративным процессом: после представления данных пользователю выборка данных для анализа может быть изменена, а также могут быть интегрированы новые источники данных [4].

Поскольку термин «KDD» упоминался еще в 90-х годах прошлого века, под базами данных подразумевались реляционные базы данных. На сегодняшний день существует широкий спектр нереляционных баз данных и систем управления базами данных: документоориентированные, графовые, объектные, хранилища кортежей (троек) данных, «ключ-значение» и т.д. В связи с этим эволюционировало и само понятие от KDD к интеллектуальному анализу данных.

Проблема сырых данных

Сырые данные – наборы данных, извлеченных из первоначального источника без последующей

обработки. Как правило, сырые данные непригодны для использования. В зависимости от источника и постановки задачи определяется количество операций, которые необходимо проделать с данными перед их использованием [5]. Сами по себе сырые данные могут содержать шумы (записи, не представляющие ценности, но создающие выраженные искажения выводов о генерализованной выборке), выбросы (аномальные значения), пропуски (пустые значения), а также большое количество признаков (атрибутов), являющихся излишними.

Современные системы сбора, обработки и хранения данных представляют собой сложные комплексные решения. Как правило, подобные системы не ограничиваются самим хранилищем данных или множеством хранилищ – в последнем случае также возникает вопрос о разнородности (гетерогенности) данных. В зависимости от поставленной задачи не исключено обращение напрямую к внешнему источнику (например, веб-ресурсу), в связи с чем возникает необходимость фильтрации данных и дополнительной предобработки независимо от способа извлечения данных (web-scraping [6] или программный интерфейс приложения). Таким образом, подготовка данных занимает важную роль в работе с данными эксперимента перед визуализацией. Поскольку визуализация – способ доступного для конечного пользователя представления абстрактной информации в графической форме [7], данные должны быть «чистыми», т.е. готовыми к передаче следующему модулю ССПР.

Автоматизация исследований в области цифровой социологии

Цифровая социология является примером области знаний, порожденной тесной интеграцией телекоммуникаций и социума. Это довольно молодая социологическая субдисциплина, которая фокусируется на понимании использования цифровых средств массовой информации как части повседневной жизни и как эти технологии способствуют моделям поведения человека, социальным отношениям и концепции самоуправления [8]. Иными словами, цифровая социология изучает взаимное влияние информационных технологий и человека.

Графовая визуализация данных, извлекаемых из социальных сетей (на примере сети VK), охватывающая задачи интеллектуального анализа веб-данных о сообществах и входящих в них пользователей, помогает понять специалистам в области цифровой социологии тенденции распространения информации между сообществами различных классов (классы выделяются непосредственно специалистами-социологами). Аналитический охват того массива данных, которые предоставляют социальные медиа (в том числе социальные сети), без использования современных решений в области интеллектуального анализа данных, является невозможным или требует большого количества затрачиваемых временных ресурсов, в связи с чем возникает необходимость использования инструментария, совмещающего в

себе аналитический аппарат и инструмент визуализации.

В качестве примера положим исследование по выявлению каналов распространения информации в социальных сетях между различными классами сообществ. Распространение информации как результат социального взаимодействия наиболее вероятно в том случае, когда участники различных сообществ имеют схожие интересы (относятся к одному классу, определенному экспертами). Тем не менее важно понимать самопозиционирование представителей разных сообществ, которое может существенно отличаться от экспертной классификации, открывая дополнительные каналы передачи информации. Первая выдвинутая исследовательской группой гипотеза – выявление неявной связи между сообществами, в том числе принадлежащими к различным классам, возможно через «пропущенные узлы», представляющие собой сообщества-ссылки (ссылки указываются самими сообществами), не входящие в контрольную группу. Результаты визуализации представлены на рис. 1. Узлами графа являются сущности-сообщества, ребрами – наличие связи между сущностями.

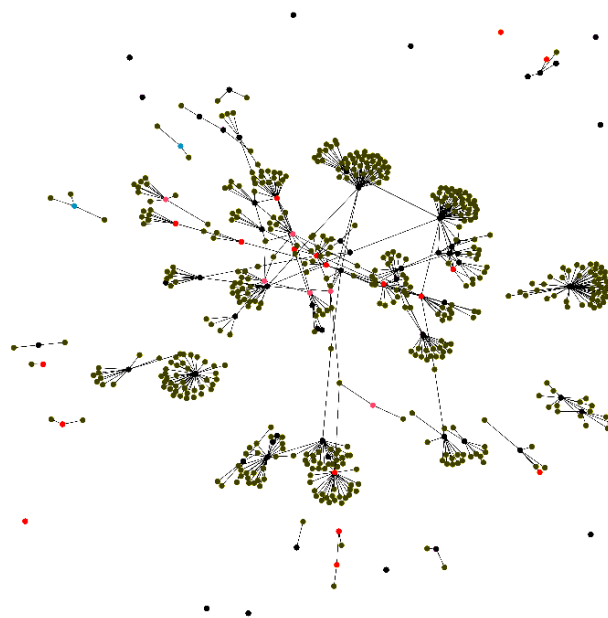


Рис. 1. Визуализация гипотезы о выявлении неявных связей через промежуточные ссылки

Вторая гипотеза заключается в предположении о том, что оценка силы связи позволит выделить отдельные подклассы внутри генерализованных классов, которые в различной степени соотносятся с другими классами, не являющимися тесно связанными друг с другом по каким-либо признакам. В ходе исследований и визуализации гипотезы были успешно проверены и подтверждены. Стоит отметить, что в вышеописанном исследовании модуль визуализации полагается как часть разрабатываемой ССПР. Завершение первого прототипа модуля визуализации планируется к концу 2020 г.

Заключение

ССПР для решения задач цифровой социологии является наглядным примером успешной интеграции модуля визуализации данных, новых подходов интеллектуального анализа данных и классических аналитических операций по обработке информации с участием эксперта. Разрабатываемая система, в частности модуль, отвечающий за графовую визуализацию, является эффективным вспомогательным инструментом для специалиста своей предметной области, позволяя не только сократить затраты временных ресурсов, но и охватить гораздо более широкий спектр условий.

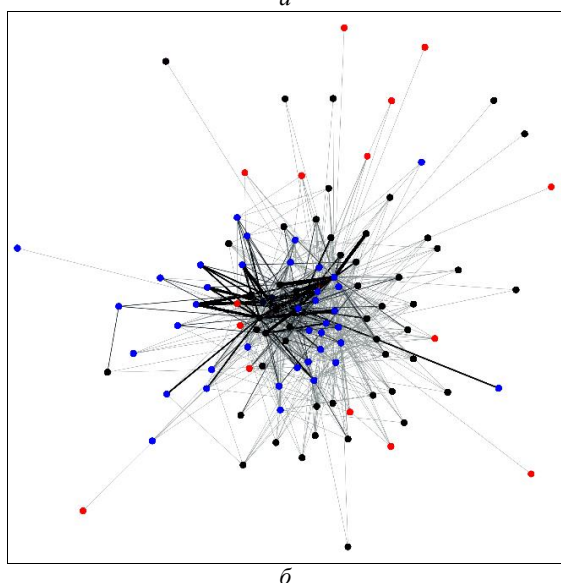
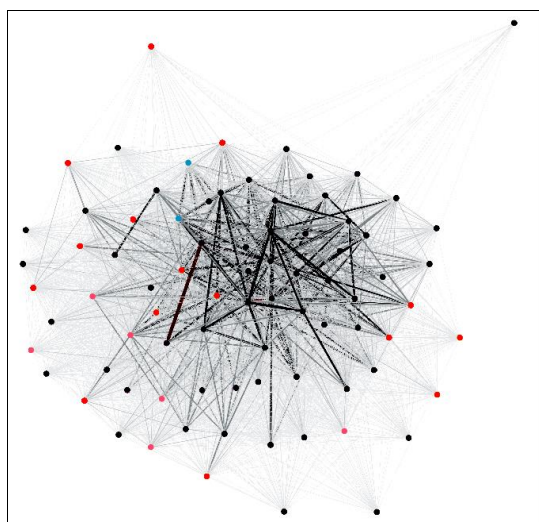


Рис. 2. Визуализация силы связей: между сообществами по оценке аудитории – а; сообществ контрольного списка и целевой группы – б

Исследование выполнено при финансовой поддержке ГЗ «Наука» в рамках проекта FSWW-2020-0014.

Литература

1. Стародубцев А.А. Система поддержки принятия решений // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2016. – № 12. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-podderzhki-prinyatiya-resheniy> (дата обращения: 19.09.2020).
2. Нечипорук Д.В. Особенности технологии Data Mining // Молодой исследователь Дона. – 2017. – № 1 (4). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-tehnologii-data-mining> (дата обращения: 19.09.2020).
3. Baskarada S., Koronios A. Data, Information, Knowledge, Wisdom (DIKW): A Semiotic Theoretical and Empirical Exploration of the Hierarchy and its Quality Dimension // Australasian Journal of Information Systems. – 2013. – Vol. 18, No. 1. – P. 5–24.
4. Zaïane O.R. Chapter I: Introduction to Data Mining // CMPUT690 Principles of Knowledge Discovery in Databases, 1999. – P. 1–19.
5. Rudloff D. From Raw Data to Results: Preparing Quantitative Data for Analysis, 2012. Centre for Labor Market Studies University of Leicester.
6. Mitchell R. Web Scraping with Python. – CA: O'Reilly Media, Inc., 2015. – P. 6–37.
7. Касьянов В.Н., Касьянова Е.В. Визуализация информации на основе графовых моделей // Научная визуализация. – 2014. – Т. 6, № 1. – С. 31–50.
8. Ницевич В.Ф. Цифровая социология: теоретико-методологические истоки и основания // Цифровая социология. – 2018. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-sotsiologiya-teoretiko-metodologicheskie-istoki-i-osnovaniya> (дата обращения: 19.09.2020).

Кайда Анастасия Юрьевна

Аспирант отд. информационных технологий
Инженерной школы информационных технологий
и робототехники (ИШИТР)
Томского политехнического ун-та (НИ ТПУ)
Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4243-8628>
Тел.: +7-923-407-86-71
Эл. почта: ayk13@tpu.ru

Савельев Алексей Олегович

Канд. техн. наук, доцент ИШИТР НИ ТПУ
Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7466-6142>
Эл. почта: sava@tpu.ru

УДК 004.89

А.В. Куртукова, А.С. Романов, А.А. Соболев

Воздействие корпоративных стандартов разработки на идентификацию автора исходного кода

Проанализировано воздействие корпоративных стандартов разработки программного обеспечения на процесс идентификации автора исходного кода глубокой нейронной сетью. Авторами рассматриваются наиболее значимые аспекты качественного кода, а также распространенные корпоративные правила и соглашения. В рамках исследования проведены эксперименты с исходными кодами разработчиков проекта Linux Kernel. Результаты экспериментов позволяют сделать вывод о возможности применения гибридной нейронной сети при условии наличия больших вычислительных мощностей и достаточного количества тренировочных данных.

Ключевые слова: корпоративный стандарт, программное обеспечение, исходный код, нейронная сеть.

Качество исходного кода является одним из ключевых аспектов коммерческой разработки программного обеспечения (ПО). Важность данного аспекта подкрепляется исследованиями [1], направленными на определение временных затрат среднестатистического разработчика. Они подтверждают, что коэффициент, исчисляемый как отношение времени, затраченного на чтение кода, ко времени, затраченному на написание, в среднем составляет 10:1. Это значение, а вместе с тем и временные затраты разработчика могут быть уменьшены путем повышения качества программных кодов, реализуемых в рамках одной компании. Основным способом достижения данной цели является корпоративный стандарт кодирования. Он представляет собой свод правил и соглашений, описывающих принципы оформления исходного кода, и применяется совместно группой разработчиков. Таким образом, улучшается читабельность кода, уменьшается нагрузка на память и зрение разработчика.

Корпоративный стандарт разработки ПО может подразумевать как использование базовых правил и ограничений, так и подробные рекомендации по проектированию интерфейсов, реализации методов и классов, конвенции по форматированию, именованию переменных и др. Наглядным примером последнего является реализация ядра Linux [2]. Данный проект совместно реализуется большим количеством разработчиков. Среди принципов, соблюдаемых ими, выделяются несколько наиболее известных и понятных:

- Модульность, обеспечивающая возможность повторного использования кода.

- Инкапсуляция, позволяющая скрывать внутренние детали реализации.

- Краткость и понятность функций и их параметров (максимальная длина функции обратно пропорциональна ее сложности и количеству уровней вложенности).

- Унифицированное именование элементов программного кода.

- Отступы и выравнивание, явно демонстрирующие начало и конец программного кода.

Стандартам кодирования посвящено большое количество исследований [2–4]. Однако их авторы

уделяют недостаточно внимания тому, как стандарты влияют на авторский стиль разработчика. В частности, на его профессиональные приемы и привычки, несущие в себе множество информативных признаков, позволяющих различать авторов между собой. Оценка этого влияния является необходимой для решения задачи идентификации автора исходного кода. Полученная оценка позволит сделать вывод о применимости алгоритмов идентификации по отношению к программным кодам, написанным по определенным внутри компании правилам, корпоративным соглашениям. Так, была поставлена цель – определить воздействие корпоративных стандартов на идентификацию автора исходного кода.

Современные модели нейронных сетей

Проблема идентификации автора исходного кода находит множество решений в трудах исследователей. Основные подходы представлены в таблице.

Подходы к идентификации автора исходного кода

Автор	Подход	Точность, %	Язык
Yang X., Li Q., Guo Y. [5]	PSO, DNN	91	Java
Alsulami B., Dauber E. [6]	AST, LSTM/ BiLSTM	92/96 80/85	Python C++
Wisse W., Venman C. [7]	AST, SCAP, SVM	80	JS
Zia T., Ilyas M. [8]	AST, SVM	75	Java
Caliskan-Islam A., Harang R. [9]	AST, random forest	90	Python
Caliskan-Islam A., Dauber E. [10]	Fuzzy AST	73	C++
Wang T., Ji S. [11]	Static, dynamic metrics	94	Python
Abuhamad M., AbuHmed T. [12]	RNN, random forest	95,2	C++
Mohsen A., El-Makky N. [13]	SVM, autoencoder	95	–

Представленные в таблице подходы демонстрируют высокую точность, как правило, для одного языка программирования, что является самым простым случаем идентификации. Сложные же случаи, такие как деанонимизация обфусцированных, смешанных или написанных в корпоративном стиле исходных кодов, авторами рассмотрены не были.

Для достижения поставленной цели было решено применять авторскую гибридную нейронную сеть (HNN), представленную в работах [14–16] и доказавшую свою эффективность в том числе для сложных случаев идентификации.

Архитектура HNN представляет собой комбинацию сверточных (CNN) и рекуррентных нейронных сетей (RNN) – рис. 1. Она позволяет находить информативные признаки, указывающие на автора исходного кода. Это происходит, во-первых, за счет сверток с фильтрами различных размерностей, фиксирующих как локальные, так и глобальные авторские признаки, во-вторых, при помощи двунаправленной RNN (BiGRU), способной реагировать на долгосрочные зависимости.

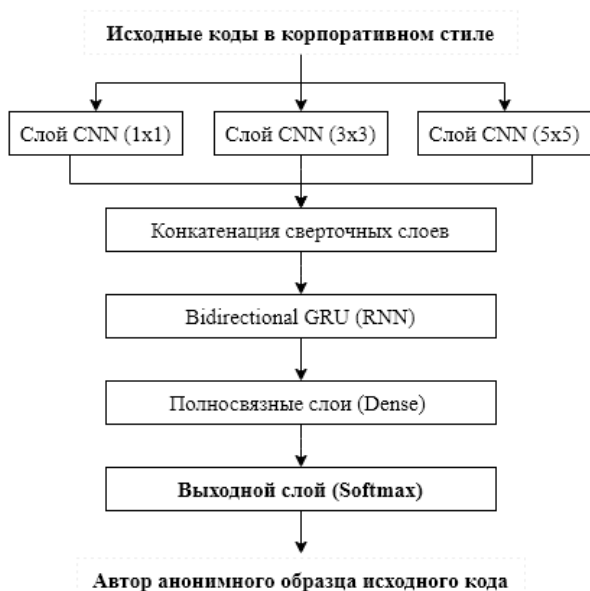


Рис. 1. Модель HNN

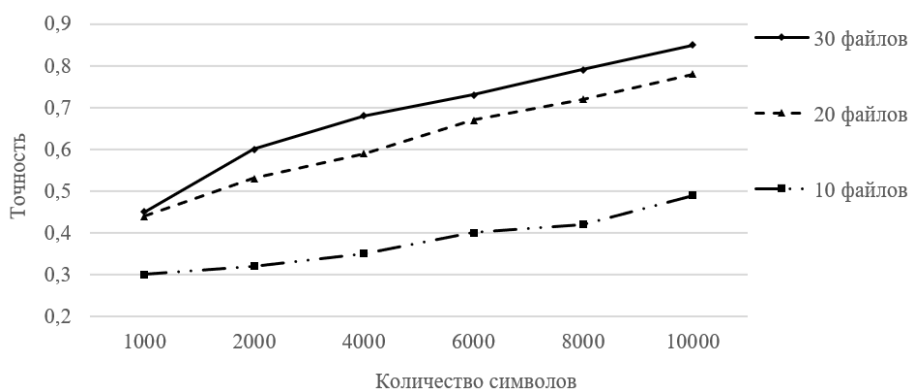


Рис. 2. Точность HNN в зависимости от объема обучающих данных

Это объясняется унификацией оформления программных элементов среди разработчиков одной компании. Ее следствием является исчезновение таких информативных признаков, как:

- авторское выравнивание логических блоков программы, в том числе использование определенного вида пробельных символов;
- стиль именования переменных, классов, методов и др., например CamelCase, snake_case.

Эксперименты и анализ результатов

Для проведения экспериментов по идентификации автора исходного кода, написанного в корпоративном стиле, были собраны данные из репозитория разработчиков проекта Linux Kernel, описанного ранее [17]. Общее количество исходных кодов в наборе данных составило свыше 250 тыс. экз., написанных на языках программирования C, C++ и Assembler пятью наиболее активными разработчиками.

Полученные с Github данные были преобразованы в различные по объему тренировочные наборы, а именно по 10, 20 и 30 файлов длиной от 1 000 до 10000 символов. Такой подход позволил вынести методические рекомендации по минимальному объему данных, необходимому для эффективной идентификации автора исходного кода, написанного в корпоративном стиле.

Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 2. Данный график демонстрирует прямую зависимость точности от объема тренировочного набора – увеличение количества файлов в наборе и/или предельной длины исходных кодов влечет за собой рост точности идентификации.

Заключение

В рамках данного исследования рассмотрены наиболее распространенные корпоративные правила и соглашения, значимые аспекты качественного программного кода. Также проведены эксперименты, направленные на оценку воздействия корпоративных стандартов разработки ПО на процесс идентификации автора исходного кода авторской HNN.

Результаты экспериментов демонстрируют негативное влияние образцов исходных кодов, написанных в корпоративном стиле, на процесс идентификации автора исходного кода.

– форматирование комментариев к строкам исходного кода;

– «code smells» [8] – признаки, указывающие на элементы кода, подлежащие рефакторингу, т.е. нарушающие парадигмы языка программирования.

Таким образом, работа HNN сводится к поиску неявных информативных признаков, позволяющих разделить авторов-программистов между собой. Исходя из полученного графика, очевидно, что такой по-

иск может быть эффективным только в случае достаточного объема тренировочных данных и больших вычислительных мощностей. При соблюдении данных условий применение авторской HNN для идентификации автора исходного кода, написанного в корпоративном стиле, является целесообразным.

Исследование проводится при поддержке Фонда содействия инновациям по договору № 334ГУЦЭС8-D3/56686 от 27.12.2019 г.

Литература

1. Martin R.C. Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship // Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. – 2009. – 448 p.
2. Wang Y., Zheng B., Huang H. Complying with Coding Standards or Retaining Programming Style: A Quality Outlook at Source Code Level // JSEA. – 2008. – Vol. 1. – P. 88–91.
3. Li X., Prasad C. Effectively teaching coding standards in programming // Proceedings of the 6th Conference on Information Technology Education, SIGITE 2005. – 2005. – P. 239–244.
4. Gorshkov S., Nered S., Ilyushin E., Namiot D. Using Machine Learning Methods to Establish Program Authorship // International Journal of Open Information Technologies ISSN. – 2019. – Vol. 7, No.1. – P. 2307–8162.
5. Yang X., Li Q., Guo Y., Zhang M. Authorship attribution of source code by using backpropagation neural network based on particle swarm optimization // PLoS ONE. – 2017. – Vol. 12, No. 11. – P. e0187204.
6. Alsulami B., Dauber E., Harang R., Mancoridis S., Greenstadt R. Source Code Authorship Attribution using Long Short-Term Memory Based Networks // Proceedings of the 22nd European Symposium on Research in Computer Security. – 2017. – P. 65–82.
7. Wisse W., Veenman C.J. Scripting DNA: Identifying the JavaScript Programmer // Digit. Investig. – 2015. – No. 15. – P. 61–71.
8. Zia T., Ilyas M. Source Code Author Attribution Using Author's Programming Style and Code Smells // I.J. Intelligent Systems and Applications. – 2017. – No. 5. – P. 27–33.
9. Caliskan-Islam A., Harang R., Liu A. Deanonymizing programmers via code stylometry // Proceedings of the 24th USENIX Security Symposium. – 2015. – P. 255–270.
10. Caliskan-Islam A., Dauber E., Harang R. Git blame who? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1701.05681>, свободный (дата обращения: 15.09.2020).
11. Wang N., Ji S. Integration of Static and Dynamic Code Stylometry Analysis for Programmer De-anonymization // Proceedings of the 11th ACM Workshop on Artificial Intelligence and Security. – 2018. – P. 74–84.
12. Abuhamad M., AbuHamed T., Mohaisen A., Nyang D. Large-Scale and Language-Oblivious Code Authorship Identification // Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. – 2018. – P. 101–114.
13. Mohsen A.M., El-Makky N.M., Ghanem N. Author Identification using Deep Learning // Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA). – 2016. – P. 989–903.
14. Куртукова А.В., Романов А.С. Идентификация автора исходного кода методами машинного обучения // Труды СПИИРАН. – 2019. – № 18 (3). – С. 741–765.
15. Kurtukova A., Romanov A., Fedotova A. De-Anonymization of the Author of the Source Code Using Machine Learning Algorithms // 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – 2019. – P. 612–617.
16. Куртукова А.В., Сваровская Е.Е., Романов А.С. Оценка влияния обфускации на процесс идентификации автора программного кода // Доклады ТУСУР. – 2020. – Т. 23, № 2. – С. 50–54.
17. Linux kernel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/torvalds/linux>, свободный (дата обращения: 16.09.2020).

Куртукова Анна Владимировна

Студентка каф. БИС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-905-991-67-13
Эл. почта: av.kurtukova@gmail.com

Романов Александр Сергеевич

Канд. техн. наук, доцент каф. БИС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 70-15-29
Эл. почта: alexh.romanov@gmail.com

Соболев Артем Александрович

Студент каф. БИС ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-923-436-30-88
Эл. почта: bingjo-ya@yandex.ru

УДК 621.396.41

С.Ц. Ванданова, Т.О. Перемитина

Сравнительный анализ программного обеспечения поэтажной визуализации зданий

Описаны результаты применения сравнительного анализа по критерию функциональной полноты на примере выбора программного обеспечения для визуализации зданий.

Ключевые слова: трехмерная графика, программное обеспечение, визуализация зданий.

Трехмерная графика используется практически во всех сферах человеческой деятельности, в том числе и для визуализации зданий. Не так давно стала популярной тенденция использования трехмерных моделей зданий в интерактивных картах.

На сегодняшний день рынок программного обеспечения, позволяющий визуализировать здания, достаточно широк. Однако, несмотря на обилие подобных программ, здания, построенные с их помощью, предназначены для решения разного круга задач.

Целью данной работы является анализ существующих на рынке решений для поэтажной визуализации зданий.

SketchUp

Это программа для моделирования относительно простых трёхмерных объектов – строений, мебели, интерьера. Ее основной особенностью является инструмент «тяги/толкая», позволяющий выдвинуть любую плоскость в сторону, создав по мере ее передвижения боковые стены. Доступно использование бесплатной версии продукта с ограничением по функционалу [1].

2GIS-этажи

Виджет показывает подробную карту внутренних помещений торговых центров, где по каждому инфраструктурному объекту можно получить расширенную информацию, а также построить маршрут до места назначения внутри здания.

Особенностью виджета является то, что для представления карт помещений используется изометрическая проекция, благодаря чему карта становится более наглядной.

ArcGIS Indoors

Это комплексная картографическая система для интеллектуального управления зданием. Она организует САПР, BIM, сканирование сайтов и другие наборы рабочих данных в карты помещений [2]. Является платным программным обеспечением.

Алгоритм анализа

Данный метод, автором которого является Г.Н. Хубаев, позволяет количественно оценить степень соответствия программного продукта (ПП) требованиям пользователя, систематизировать сведения о составе и функциональной полноте существующих ПП [4].

Для реализации алгоритма необходимо выполнить следующие шаги:

- 1) сформировать список функций условной программы-эталона (реально не существующей);
- 2) построить матрицы $P^{(1)}$, $P^{(10)}$, $P^{(01)}$, $P^{(00)}$;
- 3) рассчитать матрицы поглощения и подобия;
- 4) выбрать пороговые значения для построения логических матриц поглощения и подобия;
- 5) построить логические матрицы поглощения и подобия;
- 6) построить граф поглощения и подобия.

В качестве критериев (параметров) в таблице указано множество необходимых пользователю функций.

Перечень функций

Параметры	Программные продукты			
	Эта- лон	Sketch Up	2GIS Этажи	ArcGIS Indoors
Наличие инструментов для работы				
С 2D-графикой	1	1	1	1
С 3D-графикой	1	1	0	0
Со стеной				
Вращение	1	1	0	1
Сдвиг	1	1	1	1
Масштабирование	1	1	1	1
Навигация и построение маршрутов	1	0	1	1
Со слоями	1	1	1	1
Поддержка				
Маркеров	1	0	1	1
Группировки объектов	1	1	0	1
Выделения цветом	1	1	1	1
Итого	10	8	7	9

Графы поглощения и подобия приведены на рис. 1, 2.

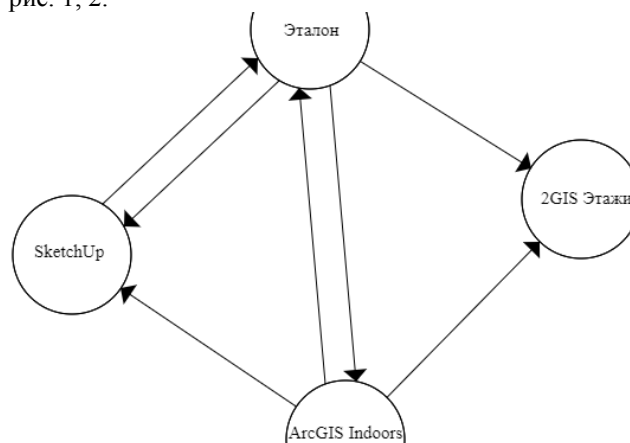


Рис. 1. Граф поглощения

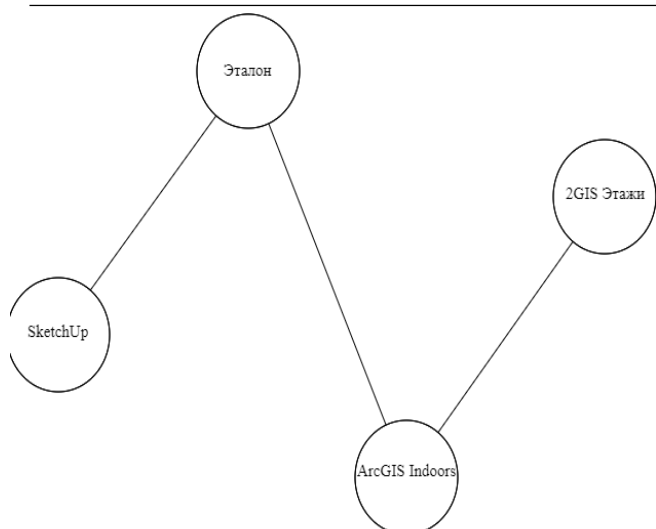


Рис. 2. Граф подобия

По графам можно сделать вывод, что функционалы SketchUp и ArcGIS Indoors не схожи между собой (отсутствует линия подобия), но наиболее удовлетворяют требованиям, которые предъявляются к программе-эталону.

Литература

- 3D-Modeling Software Pricing | 3D Design Program Cost | SketchUp. – URL: <https://www.sketchup.com/plans-and-pricing#for-personal> (дата обращения: 06.07.2020).
- Решение ArcGIS для управления и обслуживания зданий, маршрутизации внутри помещений. – URL: <https://blogs.esri-cis.ru/2020/07/08/arcgis-indoors/> (дата обращения: 06.07.2020).
- Этажи: 3D-навигация на WebGL в 2gis.ru. – URL: <https://habr.com/ru/company/2gis/blog/282207/> (дата обращения: 06.07.2020).
- Хубаев Г.Н. Сравнение сложных программных система по критерию функциональной полноты // Программные продукты и системы. – 1998. – № 2.

Ванданова Сыгарма Цырендоржиевна

Студентка ТУСУРа

Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050

Тел.: +7-999-495-87-42

Эл. почта: sytarma@yandex.ru

Перемитина Татьяна Олеговна

Канд. техн. наук, доцент каф. АОИ ТУСУРа

Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050

ORCID: 0000-0003-3280-3011

Тел.: +7 (382-2) 41-47-01

Эл. почта: tatiana.o.peremitina@tusur.ru

УДК 658.51: 519.87

И.Г. Яр-Мухамедов

Оптимизационная модель персонального тайм-менеджмента

Предложена линейная псевдодинамическая модель планирования работ с логическими либо целочисленными переменными, традиционно опирающаяся на показатели эффектов и затрат. Освещены некоторые моменты адаптации модели к конкретным условиям использования.

Ключевые слова: тайм-менеджмент, оптимизационная модель, задача линейного программирования.

Несмотря на интенсивное распространение идей персонального и корпоративного тайм-менеджмента [1, 2], до сих пор нет более или менее целостного и формализованного представления его целей, возможностей и ограничений, методов описания и решения задач. Такое положение наводит на мысли о слабой проработанности теории. С практической точки зрения, дела обстоят не лучше. Разнообразные средства, в том числе и программные [3], охватывают лишь отдельные аспекты проблематики тайм-менеджмента.

На первый взгляд, задачи тайм-менеджмента кажутся достаточно простыми. Есть только один ресурс, подлежащий распределению. Однако модели объемно-календарного планирования, наиболее часто применяемые, здесь оказываются бесполезными. Специфический динамизм обуславливает если не сложность, то громоздкость возможных формулировок задач.

Цель данной работы заключается в построении математической модели, охватывающей наиболее существенные моменты планирования работ на определенный период времени и предназначенной для персонального использования. Предполагается, что решение задач, формулируемых в рамках предлагаемой модели, должно осуществляться с помощью типовых программных средств или пакетов линейного программирования, допускающих использование целочисленных переменных.

Важнейший вопрос моделирования касается целей, критериев, а также формальных средств их описания в виде целевых функций. Обычно провозглашаемые цели связываются с понятием эффективности. В общем случае эффективность выражается в удельных показателях, соизмеряющих полезные эффекты и затраты. К сожалению, напрямую включать показатели эффективности в целевую функцию не удается, так как нет универсальных методов решения задач с такими функциями. Одним из путей преодоления подобных трудностей является традиционное раздельное представление эффектов (целевая функция) и затрат (ограничения), связь между которыми осуществляется через искомые переменные модели. Представим целевую функцию в виде

$$P = \sum_{i=1}^n P^i X^i \rightarrow \max,$$

где P^i – полезность i -й работы; X^i – логическая переменная, единичное значение которой означает включение работы с указанным индексом в план. Верхний

предел суммирования имеет смысл общего количества работ.

Трудоемкости работ T^i развернем во времени с помощью ограничений-равенств

$$T^i X^i = \sum_{t \in DH} X_{dh}^i, \quad i = \overline{1, n}.$$

Здесь X_{dh}^i – логическая переменная, единичное значение которой означает, что единица времени с индексом h в период времени d будет занята работой i ; t – пара индексов периода времени и единицы времени внутри периода; DH – множество пар индексов, которое может быть индивидуальным для каждой из работ. Предельные значения индексов определяются горизонтом планирования (D) и количеством единиц времени в периоде (H). Фактически эти множества задают возможное распределение времени для выполнения работ, причем распределение может быть сколь угодно произвольным. Благодаря этому достигается гибкость в задании исходных данных и формулировании задачи.

Временной ресурс каждого из рассматриваемых периодов не должен быть превышен:

$$\sum_{i,h} X_{dh}^i \leq Q_d, \quad d = \overline{1, k},$$

где Q_d – ресурс времени одного периода; d – индекс периода; k – количество периодов.

Единица времени не может быть занята более чем одной работой

$$\sum_i X_{dh}^i \leq 1, \quad t = \langle d, h \rangle \in DH.$$

Никакая модель не в состоянии отобразить и учесть все детали моделируемого явления или процесса. Поэтому совместно с задачами оптимизации решаются задачи инженерного расчета или прямого счета, осуществляются преобразования и пересчеты данных (формализация и интерпретация), разрабатываются управления, ведутся учет, контроль и анализ. Планы могут подвергаться оперативной корректировке, если превышаются заложенные в них резервы.

Непрерывность планирования обеспечивается частичным перекрытием смежных планов по времени. При этом начальные временные периоды могут быть заняты завершающимися работами. Ресурсы соответствующих периодов текущей задачи должны быть уменьшены. Обязательные постоянные, периодические и единичные работы также должны быть учтены в условиях задачи. Но не прямым включе-

нием в состав переменных и ограничений, а косвенно, путем уменьшения ресурсов времени. Интерпретация результатов и формирование плана предполагают обратный подбор информации для заполнения документов.

Нередко к планам предъявляется требование ограничения количества различных работ, планируемых на выполнение в отдельный период времени. Не вводя дополнительных ограничений, можно достичь требуемого результата простым укрупнением единиц времени.

Один из факторов, отмечаемый в тайм-менеджменте как наиболее значимый, не учтен в нашей модели. Это важность той или иной задачи (работы). В данном случае мы будем различать важность и обязательность работ. Один из способов учета важности – через включение коэффициентов важности в состав целевой функции. Однако этот некогда популярный «сверточный» вариант методологически порочен, так как попытки количественного соизмерения качественно различных величин редко могут быть успешными. Второй способ – через приравнивание важных работ обязательным – тоже может быть неудовлетворителен. Если важная работа не является срочной, то мы потеряем возможности ресурсных маневров. По этой причине выберем третий вариант. Он хорошо подходит для важных и обязательных, но не срочных работ. Суть его заключается в изменении параметрических ограничений. Для этих видов работ вместо ограничений вида $X^i \in \{0, 1\}$ необходимо задать $X^i = 1$.

Напомним также, что срочность работ в модели может задаваться с помощью множеств допустимых интервалов времени. Для срочной работы в множестве HD не должно быть индексов, превышающих

индекс периода, соответствующего предельному времени окончания работы.

Выходная информация как минимум может быть представлена значениями искомым переменных: X^i – работы, включенные в план; и ресурсы времени, выделяемые на выполнение каждой из работ в каждый из периодов времени

$$\sum_h X_d^i, \quad i = \overline{1, n}, \quad id = \overline{1, k}.$$

На основе этих данных могут быть построены графики выполнения работ.

Модель удовлетворяет требованиям типовых программных средств и пакетов математического программирования.

Литература

1. Дебра Оллок. Управление временем и рабочей нагрузкой / пер. с англ. – М.: Финпресс, 1998. – 96 с.
2. Калинин С.И. Тайм-менеджмент: практикум по управлению временем. – СПб.: Речь, 2006. – 371 с.
3. Новак Б.В. Тайм-менеджмент на компьютере. Как управлять своим временем эффективно. – СПб.: Питер, 2007. – 128 с.

Яр-Мухамедов Ильдар Гизаевич

Доцент, с.н.с. лаб. адаптивных и интеллектуальных систем Института машиноведения и автоматизации Национальной академии наук Кыргызской Республики Чуй пр-т, д. 265а, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 720071
Тел.: +9-9-631-230-35-31
Эл. почта: aldar@email.su

УДК 621.396.41

С.А. Гордиенко

Исследование систем электронного документооборота

Приведено описание достоинств и недостатков систем электронного документооборота: Е1 Евфрат, Дело, Логика, 1С-ЭДО. На основе сравнительного анализа сильных и слабых сторон сформулированы требования к новой системе электронного документооборота.

Ключевые слова: документооборот, электронный документооборот, система электронного документооборота.

Компании в наше время озабочены постоянным улучшением бизнес-процессов. Документооборот – один из важнейших бизнес-процессов во многих компаниях. Эффективное управление документами способствует повышению работоспособности сотрудников, повышению дисциплины управления.

Организовав работу с электронными документами, можно увидеть улучшение качества организационных аспектов управления. Успех управленческой деятельности зависит от того, как ведутся профессиональные электронные документы. Важнейшим условием является скорость передачи и доставки данных. Независимо от полной и достоверной информации, если она становится медленной, ее трудно, а иногда и невозможно использовать. Работая с документами, сотрудники не должны беспокоиться об основных производственных целях организации.

Системы электронного документооборота

Система электронного документооборота позволяет автоматизировать все основные процессы при работе с документами на протяжении всего жизненного цикла: от создания, до их уничтожения [1].

На отечественном рынке большое количество СЭД, и этот список постоянно пополняется. Рассмотрим наиболее известные из отечественных, оценим достоинства и недостатки каждого. Среди российских компаний наиболее известными являются:

Е1 Евфрат

Отличительной чертой данного программного продукта является наличие уникальных технологий, не встречающихся у систем конкурентов, таких как управление слабоструктурированных бизнес-процессов, которые все больше встречаются в современных организациях. Приобретая данную систему, пользователь дополнительно получает СУБД «Ника». Это является значительным плюсом для небольших фирм, которым не приходится думать о выделении бюджета на покупку дополнительного программного обеспечения, но следует рассматривать масштаб расширения компании в будущем, чтобы увеличение количества пользователей системы не повлекло большие траты. Также к минусам системы можно отнести низкую скорость работы системы на слабых персональных компьютерах и достаточно высокую стоимость лицензии на одного пользователя [2].

СЭД «Дело»

На текущий момент данная система является наиболее распространенной в России и странах СНГ. В отрасли автоматизации документооборота «Дело»

является стандартом. Эффективно используется в работе фирм разных размеров: от нескольких сотрудников до крупных холдингов. Данная система обладает всеми функциональными возможностями для полной автоматизации процессов в организации. Однако устаревший интерфейс, некоторая сложность системы существенно увеличивают время освоения новым пользователем, а это является явным недостатком [3].

СЭД «Логика»

Раньше данная система существовала под наименованием «Босс–Референт». Несмотря на давнее происхождение, является одной наиболее часто встречающейся СЭД на отечественных предприятиях. Положительными сторонами системы являются: простота сопровождения системы, возможность администрирования во всех подразделениях предприятия из одной точки, хорошие возможности для масштабируемости системы, является одним из лучших на рынке предложений по соотношению цена / качество. Среди недостатков выделяются: устаревший дизайн, большое количество неприятных случаев с технической поддержкой и партнерами, сложность в разграничении прав доступа к данным [4].

Система от семейства 1С – 1С-ЭДО

Является системой электронного документооборота, созданной на платформе 1С: Предприятие 8. Из названия можно понять, что данная система является частью экосистемы «1С», значит, возможна простая интеграция с другими продуктами компании. Данная система особенно приветствуется коммерческими директорами предприятий, так как компания 1С предоставляет своим клиентам подарки с собственной символикой и часто проводит бесплатные семинары и мероприятия для повышения квалификации. К безусловным преимуществам системы можно отнести: простое конфигурирование системы под требования заказчика, возможность использовать все функциональные возможности прямо из комплекта поставки, регулярный выпуск обновлений, возможность использовать систему с любого устройства. К недостаткам можно отнести: стоимость приобретения и владения продуктом является довольно высокой для предприятий с небольшой выручкой, система не обновляется автономно, поэтому при обновлении специалистом значительно замедляется рабочий процесс [5].

При изучении систем был сделан вывод, что все системы обладают своими преимуществами и недостатками, поэтому нужно составить требования для

новой системы, которые бы в большей степени удовлетворяли пользователей.

Требования к новой системе электронного документооборота

Для любой информационной системы заказчик выдвигает требования исходя из особенностей деятельности, но можно выделить общие требования, которым должна соответствовать каждая система.

Главным требованием является соответствие всем законодательным актам и правовым нормам для как электронного делопроизводства, так и «классического».

Существует много стандартов и спецификаций, описывающих требования к СЭД. Для помощи при выборе системы компания может обратиться к спецификации MoReq-2 (таблица). Подробно прописанные группы требований, помощь в определении задач, решаемых системой, позволят наиболее верно выбрать нужный продукт [6].

Основные группы требований по спецификации MoReq-2

№	Группа требований	Количество требований
1	Схема классификации и организация дел	77
2	Управление доступом и безопасность	45
3	Хранение, отбор и передача	68
4	Ввод и регистрация документов	69
5	Идентификация информационных объектов	38
6	Поиск, извлечение и отображение	54
7	Административные функции	62
8	Опциональные модули	199
9	Нефункциональные требования	124

К основным требованиям функциональных возможностей относится:

- регистрация любой корреспонденции компании;
- обмен документами между всеми филиалами;
- расширенный поиск по произвольному сочетанию атрибутов документа;
- формирование отчетных документов;
- перевод документов с бумажных носителей в электронный вид с возможностью распознавания текста;
- организация архивного хранения с автоматизацией основных процессов;
- маршрутизация документов (строгая или произвольная);
- определение прав доступа к функциям системы;
- наличие механизмов защиты данных от хищения и несанкционированного доступа.

Рассматривая требования со стороны участников делопроизводства, выделим две основные группы:

- представители компании, которые выбирают систему исходя из особенностей работы компании, с наименьшими затратами на введение в эксплуатацию;

- сотрудники компании, для которых важным фактором является удобство работы в системе.

Для представителей компании важными требованиями будут:

- полный функционал за низкую цену;
- масштабируемость системы (функциональная и территориальная);
- удобство сопровождения;
- техническая поддержка системы.

Также представителям компании нужно рассматривать потенциал системы к развитию. Соответствие СЭД прогрессу информационных технологий, используемых в компаниях, расширит круг функциональных задач, даст возможность специалисту компании вносить изменения в систему.

Удобство использования системы позволит значительно увеличить работоспособность сотрудников, поэтому требования и пожелания со стороны сотрудников не менее важны. У каждого сотрудника есть свои предпочтения, но можно выделить самые востребованные:

- своевременное информирование о движении документов с графической интерпретацией;
- постоянный контроль исполнительного процесса;
- наличие персонального хранилища с настраиваемой системой доступа для коллег;
- автоматическое создание отчетов для последующего анализа и отчета перед руководством;
- поддержка версионности документов;
- возможность работать с мобильных устройств;
- наличие средств календарного планирования;
- наличие обучающих курсов и семинаров.

Анализ рынка систем электронного документооборота и проработанные требования к системе со стороны разных участников процессов позволят не только правильно подобрать нужную систему, но и создать среду для плодотворной коллективной работы с документами.

Литература

1. Бобылева М.П. Управленческий документооборот: от бумажного к электронному. – М.: Проспект, 2016. – 297 с.
2. Е1 Евфрат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.doc-online.ru/tool/2783/>
3. Корнеев И.К. Информационные технологии в работе с документами. – М.: ТЕРМИКА, 2019. – 297 с.
4. Логика: СЭД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www-356.ibm.com/partnerworld/gsd/solutiondetails.do?solution=54434&lc=ru&stateCd=P&tab=2>
5. Сервис 1С-ЭДО. Руководства пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://its.1c.ru/db/eldocs#content:102:hdoc>
6. Стандарт MoReq2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gdm.ru/projects/moreq/ruskij.php>

Гордиенко Сергей Александрович

Студент каф. АОИ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-932-050-13-00
Эл. почта: gordienko.serg@mail.ru

УДК 621.396.41

А.Д. Ульянов, Ю.Б. Гриценко

Применение метода вторичной идентификации для диагностики промышленных объектов

Представлен метод вторичной идентификации и его применение на промышленных объектах. Вторичная идентификация проводится с целью уменьшения ошибки идентификации в ходе уточнения числовых значений структурных параметров исследуемого промышленного объекта, полученных в ходе проведения структурной и параметрической идентификации.

Ключевые слова: идентификация, диагностика, промышленные объекты, управляющее воздействие.

В современном методическом и инструментальном обеспечении систем автоматического управления перспективным является управление, в котором управляющие воздействия служат для обеспечения требуемого качества функционирования промышленных объектов в режиме их нормального функционирования в гетерогенной среде. Достичь такого управления можно только с учетом непрерывной идентификации и диагностики объектов управления.

Промышленные объекты – это сложные динамические системы, представляемые электрическими, механическими, электромеханическими элементами с различными особенностями. При реализации задач диагностирования [1–3] преимущество следует отдать детерминированным методам как методам, соответствующим целям диагностики: простота, корректность, универсальность.

Анализ методов идентификации промышленных объектов с запаздыванием [4–6] показал, что большинство из них дают маленькую точность для дальнейшего диагностирования промышленных объектов и невозможность применения в процессе автоматизации. Следовательно, разработка методов вторичной идентификации, которые позволяют найти значения структурных параметров, не изменив при этом формы математической модели, является актуальной и первостепенной задачей идентификации и диагностирования.

Вторичная идентификация – идентификация, проводимая с целью уменьшения ошибки идентификации в ходе уточнения числовых значений структурных параметров исследуемого промышленного объекта, полученных в ходе проведения структурной и параметрической идентификации.

Все реальные промышленные объекты имеют запаздывание выходного сигнала [7–9] относительно управляющего воздействия. На это влияют следующие факторы: передача сигнала на расстояние (транспортное запаздывание), время реакции промышленного объекта на управляющее воздействие (информационное запаздывание), неточное расположение датчиков на конвейерных линиях.

Существует достаточно много различных методов идентификации промышленных объектов с запаздыванием: метод идентификации звеном первого

порядка; метод Ольденбурга–Сарториуса; метод Андерсона; графоаналитический метод; метод интегральных площадей; метод Стрейца и др.

Необходимо отметить, что применение этих методов позволяет производить как структурную, так и параметрическую идентификацию. Рассматривать все перечисленные методы не имеет смысла, т.к. они достаточно хорошо изучены и апробированы.

Метод вторичной идентификации

Процесс идентификации условно можно разделить на следующие этапы:

1. Структурная идентификация, где определяется математическая модель исследуемого промышленного объекта. Математическая модель может быть получена из литературных источников или в ходе математических вычислений.

2. Параметрическая идентификация, где определяются численные значения коэффициентов полученной математической модели.

3. Вторичная идентификация, где достигается требуемая точность идентификации в ходе уточнения численных значений переменных математической модели.

Разработанный метод вторичной идентификации заключается в минимизации ошибки идентификации. Ошибка идентификации – отличие, расхождение между передаточными функциями, полученными в ходе проведения эксперимента и расчетным путем. Определение ошибки идентификации осуществляется суммарной абсолютной погрешностью

$$S_m = \sum_{i=1}^n |h_p(t_i) - h_3(t_i)| \rightarrow \min,$$

где h_p – значение передаточной функции, полученное расчетным путем, h_3 – значение передаточной функции, полученное экспериментальным путем, t – время.

Значение ошибки идентификации определяется величиной относительной ошибки

$$\Delta = \frac{S_m}{\sum_{i=1}^n |h_p(t_i)|} \times 100\%.$$

Метод вторичной идентификации может быть реализован в соответствии с положениями, изложенными в работах [10–12].

Программная среда MatLab позволяет построить структурную схему промышленного объекта.

При этом необходимо:

1. Создать Simulink-модель объекта идентификации, полученную после проведения первичной идентификации.

2. Учесть управляющее воздействие. Если оно типовое, воспользоваться предложенными блоками воздействий (ступенчатое, импульсное, синусоиды и др). Если воздействие сложное, необходимо создать отдельный файл с массивом данных, соответствующий этому воздействию.

3. Перенести в MatLab экспериментальную переходную характеристику.

4. Сравнить графики экспериментальных и расчетных переходных характеристик.

5. Вычислить интегральную ошибку идентификации.

В качестве примера предлагается рассмотреть реализацию промышленного объекта, представленного передаточным звеном 3-го порядка с запаздыванием.

В данном случае предполагается наличие двух переменных: постоянной времени T и постоянной запаздывания τ . Если в исследуемой схеме присутствует больше переменных, тогда необходимо ввести дополнительные циклы для каждой новой переменной.

В ходе проведения вторичной идентификации определяются оптимальные значения коэффициентов и интегральная ошибка. При необходимости выводятся графики зависимости погрешности идентификации от значений коэффициентов передаточных функций в трехмерном пространстве.

В процессе нахождения подходящих значений постоянных времени записываются значения погрешностей для каждой пары параметров, строится трехмерный график (рис. 1), по которому можно проследить зависимость погрешности от значений коэффициентов передаточных функций. Этот график позволяет визуализировать зависимость и самостоятельно отобразить дополнительные пары с подходящим значением погрешности идентификации.

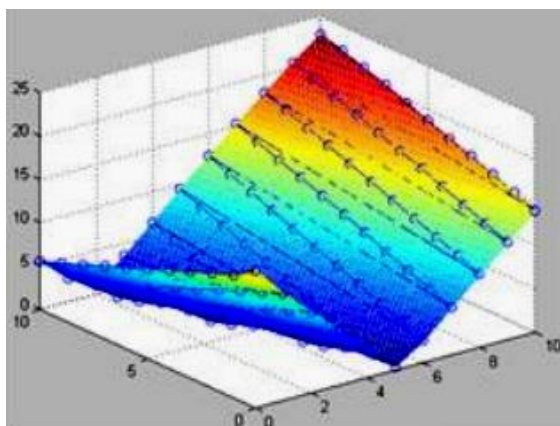


Рис. 1. Пример трехмерного графика

Практическая реализация

Метод вторичной идентификации был применен на двух примерах: идентификации динамики

разгона гидрогенератора Братской ГЭС и идентификации динамики линейной стационарной системы автоматического регулирования скорости двигателя постоянного тока.

В результате проведения идентификации гидрогенератора разработанным методом вторичной идентификации была значительно увеличена точность идентификации – с 4,82% (метод Стрейца) до 1,69%. Также обоснована замена составной запаздывания на разложение в ряд Маклорена и определено оптимальное количество членов ряда.

По результатам работы по идентификации динамики линейной стационарной системы автоматического регулирования скорости двигателя постоянного тока можно заметить, что постоянные времени двигателя имеют отклонения в 33 и 11,7%. Очевидно, что данные отклонения негативно влияют на работу исследуемого объекта и ему необходимы более детальная диагностика и плановый ремонт.

Заключение

Разработанный метод вторичной идентификации с учетом реального управляющего воздействия позволяет получить минимальную ошибку идентификации.

При параметрической идентификации определяются постоянные времени и время запаздывания, характеризующие состояние промышленного объекта и регулятора.

Предложенный метод вторичной идентификации может быть достаточно просто интегрирован в технический процесс функционирования практически любого реального промышленного объекта. Он позволяет проводить идентификацию в процессе нормального функционирования системы в режиме реального времени.

На время запаздывания влияет множество факторов, главным из них – техническое состояние объекта. Так как в процессе идентификации по предложенному методу могут быть получены передаточные функции любой сложности, коэффициенты которых зависят от величины времени запаздывания, это существенно увеличивает их диагностическую ценность.

Статья написана в рамках государственного задания Минобрнауки РФ, проект FEWM-2020-0036.

Литература

1. Брюле Д.Д. Отыскание неисправностей в технических устройствах / Д.Д. Брюле, Р.А. Джонсон, Е.Д. Клетский // Зарубежная радиоэлектроника. – 1967. – № 7. – С. 123–137.
2. Воронин В.В. Диагностирование технических объектов. – Хабаровск: Хабар. гос. техн. ун-т, 2002. – 188 с.
3. Верзаков Г.Ф. Введение в техническую диагностику / Г.Ф. Верзаков, Н.В. Киншт, В.И. Рабинович. – М.: Энергия, 1968. – 224 с.
4. Бильфельд Н.В. Пассивная идентификация объектов управления средствами toolbox ident // Juvenis scientia. – 2016. – № 3. – С. 4–7.
5. Стрижнев А.Г. Идентификация объекта управления по переходной характеристике замкнутой системы /

А.Г. Стрижнев, А.В. Марков, А.Н. Русакович // Доклады БГУИР. – 2012. – № 5 (67). – С. 65–72.

6. Новиков С.И. Практическая идентификация динамических характеристик объектов управления теплоэнергетического оборудования: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 64 с.

7. Кондратьев В.А. Идентификация и диагностика схем и систем / В.А. Кондратьев, С.А. Егорова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 60 с.

8. Алексеев А.А. Идентификация и диагностика систем: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Алексеев, Ю.А. Кораблев, М.Ю. Шестопалов. – М.: ИЦ «Академия». – 2009. – 352 с.

9. Каримов Д.Р. Устойчивые алгоритмы идентификации объектов управления с запаздыванием на основе реализаций выходных и выходных сигналов // Химическая технология. Контроль и управление. – 2016. – № 4. – С. 92–95.

10. Лузгин В.В. Прикладной метод идентификации динамики промышленных объектов / В.В. Лузгин, В.В. Панасов // Информационные системы контроля и управления в промышленности и на транспорте: сб. науч. трудов / под ред. Ю.Ф. Мухопода. – Иркутск: Изд-во ИргУПС, 2007. – Вып. 15. – С. 36–41.

11. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – 264 с.

12. Пантелеев А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах / А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. – М.: Высшая школа, 2002. – 544 с.

Ульянов Александр Дмитриевич

М.н.с. лаб. объектно-ориентированного моделирования информационных систем (ЛООМИС)
каф. автоматизации обработки информации (АОИ)
Томского государственного университета
систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050

Гриценко Юрий Борисович

Канд. техн. наук, доцент каф. АОИ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0000-0002-6454-0992
Тел.: +7 (382-2) 70-17-51
Эл. почта: ubg@muma.tusur.ru

Секция 16

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ

Председатель секции – *Дмитриев Вячеслав Михайлович, проф. каф. КСУП, д-р техн. наук*

УДК 004.65

А.С. Стецко, В.А. Гойник, В.Е. Кузнецов

Проектирование веб-ориентированного интерфейса в системе управления обучением

Спроектирован веб-ориентированный интерфейс в системе управления обучением. Описаны функции студента, преподавателя и администратора. Выделены ключевые блоки, обеспечивающие контакт пользователей и образовательный процесс. Относительно этих блоков построены связи ролей. Описано начало реализации моделей с помощью фреймворков Vue.js и Laravel.

Ключевые слова: веб-ориентированный интерфейс, система управления обучением, база данных.

Цель проекта ГПО АСУ-1908 заключается в создании системы управления обучения, реализованной в виде одностраничного приложения (SPA). Приложение создано с целью обучения студентов работе в графической среде программирования «Дракон-Си». Графический редактор будет разработан отдельно от системы и затем встроен в приложение.

Система управления обучением представляет собой программное приложение, которое администрирует учебный процесс в рамках дистанционного обучения. Такое приложение должно иметь оптимальный вариант взаимодействия пользователей со средой. Одним из таких вариантов является веб-ориентированный интерфейс. Главное преимущество веб-ориентированного интерфейса в отсутствии необходимости установки дополнительного программного обеспечения, так как популярные операционные системы поставляются с уже установленным браузером.

В рамках проекта ГПО было решено создать одностраничное приложение для обучения в графической среде программирования «Дракон-Си». Приложение разрабатывается относительно ролей студента и преподавателя. У каждой роли имеются свои функции. Студент регистрируется или выполняет вход в систему, изучает теорию, выбирает задание, решает его и отправляет преподавателю на проверку (рис. 1).

Преподаватель регистрирует или выполняет вход в систему, формирует базы теоретической части, заданий и оценивает присланные работы (рис. 2).

Также учитывается администратор, контролирующий создание, удаление пользователей и их данные (рис. 3).



Рис. 1. Функции роли «студент»



Рис. 2. Функции роли «преподаватель»



Рис. 3. Функции администратора

Для каждого пользователя разработаны своя страница, своё поле деятельности. Пользователи общаются, формально не пересекаясь, но обращаясь к базам данных (рис. 4).

Исходя из перечисленных схем, можно выделить главные функциональные блоки, обеспечивающие связь пользователей и процесс обучения и связать их с перечисленными выше ролями (рис. 5).

Правильно сконструированный интерфейс значительно облегчает задачу реализации. В рамках проекта ГПО приложение создаётся при помощи фреймворков Laravel и Vue.js. С помощью Laravel организуются связи пользователей с объектами (для этого используются модели) [1].

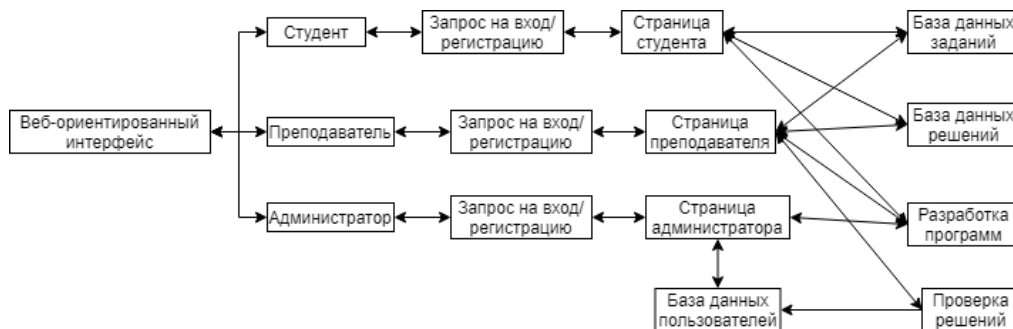


Рис. 4. Общая взаимосвязь ролей в приложении



Рис. 5. Взаимосвязь пользователей

С помощью Vue.js будет реализован непосредственно интерфейс. Учитывая, что приложение одностраничное, многие блоки будут существовать независимо от других. Именно для таких случаев

фреймворк оптимален: он позволяет внедрить блоки кода в выделенные части. Такие части в Vue.js называются компонентами [2].

Успешно создав Laravel и Vue.js проект, можно создать модели и их миграции – описания баз данных. В описаниях миграций указываются типы полей, автоматические значения. В описании моделей выбираются обязательные к заполнению поля, защищённые от заполнения поля (например, средний балл студента). Затем создаются контроллеры для возможности работы с базами данных, прописываются функции для проверки корректности введённых данных. После этого можно выполнять тестирование с помощью специальных программ (например, Postman [3]).

Например, создав модель студента и написав функции проверки данных студента, в результате выполнения запроса на отправление данных о новом пользователе (POST) система запомнит его. Результат тестирования продемонстрирован на рис. 6–8.

```

{
  "timestamp": 1600441512,
  "data": [
    {
      "id": 1,
      "name": "\u0410\u043b\u0435\u043a\u0441\u0430\u0441\u0441\u0435\u0432",
      "email": "alex@yandex.ru",
      "grade": "0.0",
      "created_at": "2020-09-07T12:46:50.000000Z",
      "updated_at": "2020-09-07T12:46:50.000000Z"
    },
    {
      "id": 2,
      "name": "alex22",
      "email": "second@yandex.ru",
      "grade": "0.0",
      "created_at": "2020-09-07T12:48:27.000000Z",
      "updated_at": "2020-09-07T12:48:27.000000Z"
    }
  ]
}
    
```

Рис. 6. Данные о студентах до выполнения запроса

KEY	VALUE	DESCRIPTION
<input checked="" type="checkbox"/> name	Alexey_TUSUR	
<input checked="" type="checkbox"/> email	al_TUSUR@yandex.ru	
Key	Value	Description

Рис. 7. Запрос на добавление пользователя

```

{
  "timestamp":1600441512,
  "data":[
    {
      "id":1,
      "name":"\u0410\u043b\u0435\u043a\u0441\u0435\u0439\u0432",
      "email":"alex@yandex.ru",
      "grade":"0.0",
      "created_at":"2020-09-07T12:46:50.000000Z",
      "updated_at":"2020-09-07T12:46:50.000000Z"},
    {
      "id":2,
      "name":"alex22",
      "email":"second@yandex.ru",
      "grade":"0.0",
      "created_at":"2020-09-07T12:48:27.000000Z",
      "updated_at":"2020-09-07T12:48:27.000000Z"},
    {
      "id":3,
      "name":"Alexey_TUSUR",
      "email":"al_TUSUR@yandex.ru",
      "grade":"0.0",
      "created_at":"2020-09-18T15:23:52.000000Z",
      "updated_at":"2020-09-18T15:23:52.000000Z"}
  ]
}

```

Рис. 8. Данные о студентах после исполнения запроса

Литература

1. Работа с моделями и базой данных в Laravel 5, добавление, изменение, условия и удаление. – URL: <https://developernotes.ru/laravel-5/modeli-i-baza-dannih-v-laravel-5> (дата обращения: 18.09.2020).

2. Основы компонентов. – URL: <https://ru.vuejs.org/v2/guide/components.html> (дата обращения: 18.09.2020).

3. Введение в Postman. – URL: <https://habr.com/ru/company/kolesa/blog/351250> (дата обращения: 18.09.2020).

Стецко Алексей Сергеевич

Студент каф. АСУ ТУСУРа
 Вершинина ул., д. 74, г. Томск, Россия, 634050
 Тел.: +7-952-896-87-13
 Эл. почта: stetsko-alexeist2015@ya.ru

Гойник Владимир Алексеевич

Студент каф. АСУ ТУСУРа
 Вершинина ул., д. 74, г. Томск, Россия, 634050
 Тел.: +7-952-800-21-72
 Эл. почта: vova.goynik.90@gmail.com

Кузнецов Владислав Евгеньевич

Студент каф. АСУ ТУСУРа
 Вершинина ул., д. 74, г. Томск, Россия, 634050
 Тел.: +7-999-620-03-71
 Эл. почта: cloudcity@rambler.ru

Секция 17

ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Председатели секции – *Курячий Михаил Иванович*, доцент каф. ТУ, канд. техн. наук;
Зайцева Екатерина Викторовна, доцент каф. ТУ, канд. техн. наук

УДК 004.932.2

Т.М. Акаева

Адаптивная медианная фильтрация цифровых изображений

Проведено исследование метода медианной фильтрации изображений и разработка функции медианной фильтрации изображений с адаптацией к характеристикам изображения в среде Scilab. Исследованы способности разработанной функции фильтровать импульсные шумы на изображениях и оценить качество фильтрации количественно.

Ключевые слова: медианная фильтрация, импульсный шум, метод пузырька, адаптация функции, улучшение изображения, цифровая обработка изображений.

В современном мире существуют различные способы создания, передачи и обработки изображений. Однако мало кто задумывается о том, что используемое изображение при различных действиях с ним может быть ухудшено визуально, что приводит к появлению различных шумов. Обработка изображений и видеоданных используется для повышения их качества и лучшего оценивания человеческим глазом. Существует много способов ослабления уровня шума. Одним из самых распространенных методов нелинейной обработки изображений является медианная фильтрация, которая эффективно борется с импульсными шумами [1].

Работа медианной фильтрации заключается в последовательном движении апертуры по изображению и замене центрального элемента значения апертуры его медианным значением, исходя из чего получается более гладкое результирующее изображение [2]. При реализации алгоритма функции медианной фильтрации необходимо выполнять движение апертуры по изображению и замены ее центрального элемента на медиану [3].

Для тестирования разработанной функции адаптивной медианной фильтрации было выбрано изображение, обработано шумом «соль-перец» и далее произведена его фильтрация. Результаты работы функции представлены на рис. 1.

Существуют различные способы оценивания качества изображения [4]. Для оценки качества фильтрации изображения от импульсного шума была использована характеристика среднеквадратичного отклонения (MSE), которая рассчитывается по формуле

$$\text{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} (M_0(i, j) - M(i, j))^2}, \quad (1)$$

где N_1, N_2 – размер изображений в пикселях; M_0, M – матрицы яркостей исходного и искаженного изображений соответственно.

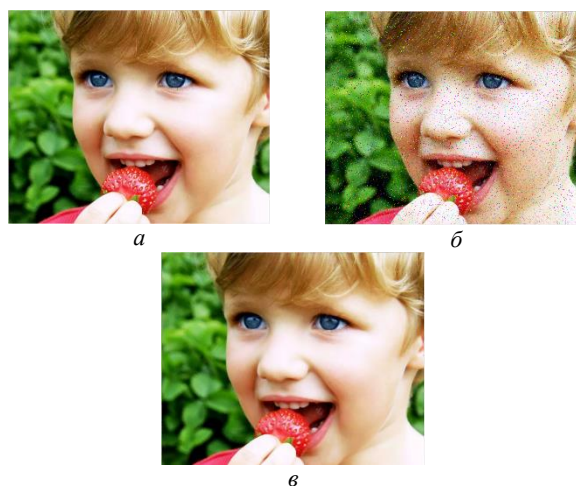


Рис. 1. Исходное (а), искусственно зашумленное (б) и обработанное (в) изображения

В данном случае следует отметить, что чем ближе данное отношение к нулю, тем качественнее происходит обработка изображения от шумов.

Вторым критерием оценки качества обработки изображений является характеристика пикового отношения сигнал-шум (PSNR), которое определяется по формуле:

$$\text{PSNR} = 20 \lg \left(\frac{\text{MAX}}{\text{MSE}} \right), \quad (2)$$

где MSE – среднеквадратичное отклонение; MAX – максимальное значение, принимаемое пикселем изображения.

Еще одним критерием оценки качества обработки является индекс структурного сходства между двумя изображениями (SSIM). Данная характеристика вычисляется по формуле

$$SSIM(y, s) = \frac{(2\mu_y\mu_s + c_1)(2\sigma_{ys} + c_2)}{(\mu_y^2 + \mu_s^2 + c_1)(\sigma_y^2 + \sigma_s^2 + c_2)}, \quad (3)$$

где y, s – исходное и обработанное изображения; μ_y – среднее y ; μ_s – среднее s ; σ_y^2 – дисперсия y ; σ_s^2 – дисперсия s ; σ_{ys} – ковариация y и s ; c_1 – переменная, равная 6,5025; c_2 – переменная, равная 58,5225.

Величина SSIM находится в пределах от 0 до 1 и равна 1 при тождественно равных изображениях.

Результаты определения качества обработанного изображения, а также результаты определения зашумленного и обработанного встроенной функцией, представлены в табл. 1.

Таблица 1
Результаты расчета среднеквадратичного отклонения (MSE), пикового отношения сигнал–шум (PSNR) и индекса структурного сходства (SSIM) для изображений

Вид изображения	MSE	PSNR, дБ	SSIM
Зашумленное	33,74	17,57	0,58
Обработанное встроенной функцией	6,43	36,43	0,99
Обработанное разработанной функцией	10,01	28,12	0,96

Исходя из полученных данных табл. 1 для изображения, обработанного разработанной функцией медианной фильтрации с адаптацией к характеристикам изображений, можно считать, что разработанная функция справляется с задачей фильтрации изображений от импульсных помех.

Способ адаптации разработанного алгоритма медианной фильтрации к характеристикам изображения заключается в сравнении медианы апертуры со значениями пикселей черного и белого (255 – для белого, 0 – для черного). В случае когда медиана апертуры равна значению черного или белого пикселя, происходит увеличение размера апертуры для более качественной фильтрации данного изображения.

Таким образом, алгоритм медианной фильтрации соответствует алгоритму, представленному на рис. 2.

Для проверки и сравнения качества обработки изображения уже с адаптивной функцией медианной фильтрации будет использовано изображение с большим количеством черных пикселей, представленное на рис. 3.

Результаты определения качества обработанного изображения, а также результаты определения зашумленного и обработанного встроенной функцией и обработанного разработанной функцией с адаптацией к характеристикам изображения представлены в табл. 2.

Исходя из полученных данных, представленных в табл. 2, можно сделать вывод, что разница между среднеквадратичным отклонением изображения, обработанного встроенной функцией, и изображения, обработанного разработанной функцией, составляет 8,5%, пиковым отношением сигнал–шум – 0,45%, при этом индекс структурного сходства идентичен. Из полученных данных следует, что разработанная функция производит фильтрацию цифрового изображения от импульсного шума.

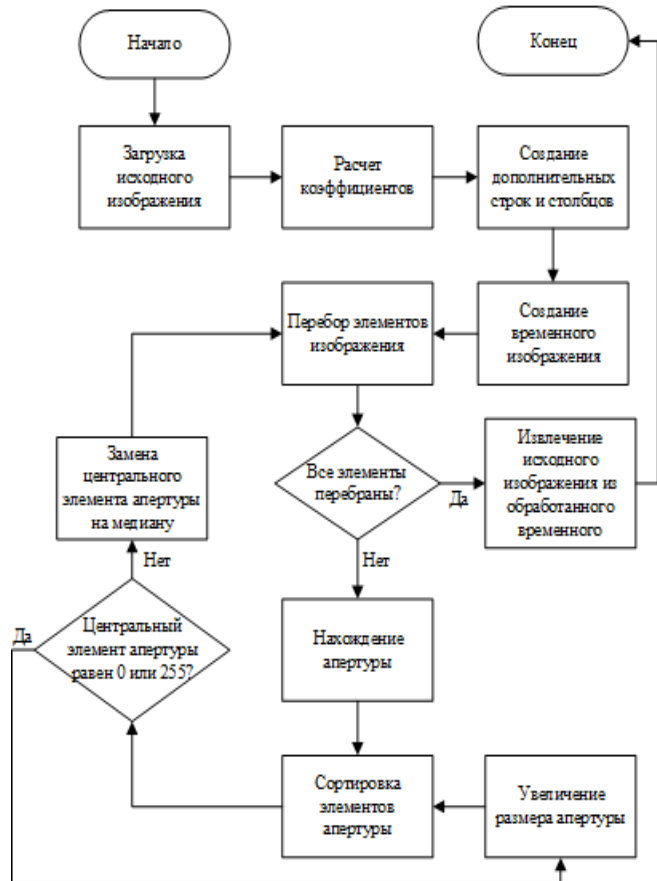


Рис. 2. Алгоритм адаптивной медианной фильтрации

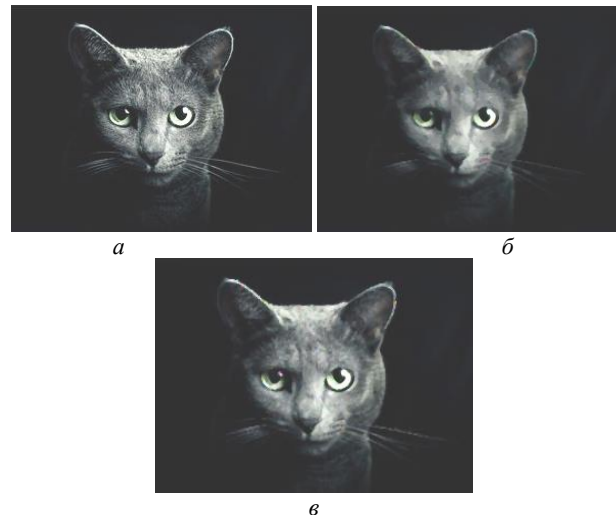


Рис. 3. Изображения: исходное (а), обработанное разработанной функцией (б) и обработанное функцией с условием адаптации (в)

Таблица 2
Результаты расчета среднеквадратичного отклонения (MSE), пикового отношения сигнал–шум (PSNR) и индекса структурного сходства (SSIM) для изображений

Вид изображения	MSE	PSNR, дБ	SSIM
Зашумленное	38,86	16,34	0,16
Обработанное встроенной функцией	6,69	31,05	0,94
Обработанное разработанной функцией	12,60	26,12	0,87
Обработанное разработанной функцией с адаптацией к характеристикам изображения	7,26	30,91	0,94

Литература

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1027 с.

2. Обзор методов цифровой обработки изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.net/14_2822_obzor-metodov-tsifrovoy-obrabotki-izobrazheniy.html

3. Хуанг Т.С. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений: Преобразования и медианные фильтры / Т.С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г.Дж. Нуссбаумер и др.; ред. Т.С. Хуанг. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.

4. Методика оценки качества изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ixbt.com/digimage/res-noises.shtml>

Акаева Татьяна Максимовна

Студентка каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-923-433-67-17

УДК 621.397.2:004.932

Н.А. Бородина

Разработка модели классификации дорожных знаков для их распознавания

Проведен аналитический обзор работ и исследований в области предобработки изображений, формирования набора данных и нейронных сетей для распознавания изображений. Создана база данных с предобработанными изображениями, а именно: обрезка, поворот, наклон, наложение различных цветофильтров и шумов.

Разработана и обучена модель для классификации дорожных знаков. Модель была реализована на языке программирования Python с использованием интерактивной оболочки и ядра Jupiter.

Также была произведена оценка классификации изображений на обученной модели с помощью тестового набора изображений и механически.

Ключевые слова: распознавание объектов, классификация, дорожные знаки, предварительная обработка, модель распознавания дорожных знаков, нейронная сеть.

Нейронные сети в сфере классификации изображений широко используются в разных областях, таких как медицина, безопасность, видеонаблюдение и др. [1]. В последнее время активно развивается направление развития искусственного интеллекта для управления транспортными средствами. Для корректной работы автопилота необходимо устройство, которое помогает считывать и анализировать информацию окружающей обстановки. К ней относятся другие автомобили, пешеходы, велосипедисты, а также неподвижные объекты в виде препятствий, например, бордюры, бетонные блоки или упавшее на дорогу дерево, а также рассматриваются данные о параметрах системы, скорости и направлении движения, качества сцепления с дорожным покрытием, качества самого дорожного покрытия, погодные условия, которые влияют как на сам автомобиль с автопилотом, так и на окружающие его объекты, что необходимо учитывать для предсказания их поведения и подготовки соответствующей реакции. В том числе необходимо учесть различные правила дорожного движения. Одним из важных этапов в разработке модели нейронной сети являются предобработка изображений и формирование набора данных, а также обучение модели.

В данной работе описывается создание базы данных для обучения и проверки нейронной сети, а также на основе взятых предобработанных изображений обучена и разработана модель для классификации дорожных знаков.

Dataset (набор данных, также именуемый далее датасет) для машинного обучения – это набор данных, которые были предварительно обработаны и структурированы, информация в наборе хранится в табличном виде. Строки такой таблицы называются объектами, а столбцы – признаками. В рамках данной работы в качестве признаков будут рассматриваться предобработанные изображения дорожных знаков. Формирование датасета из множества изображений в этой работе заключается в наложении цветофильтров, затемнении, осветлении, обрезке, сдвиге, а также в изменении уровня размытия изображений и наличия шумов.

Признаковое описание характерно для задачи классификации объектов в машинном обучении (в данной работе рассматривается именно эта задача). Имеющаяся выборка должна содержать в себе конечное множество объектов с метками класса, к которым они принадлежат. В процессе машинного обучения строится модель, способная классифицировать любой объект из исходного множества. В случае с дорожными знаками под классом подразумевается название отдельных знаков: «проезд запрещен», «пешеходный переход», «стоп» и т.п.

Для обучения модели используется отдельная обучающая выборка (training sample), которая взята из исходного датасета, по которой производятся настройка и оптимизация параметров алгоритма.

Для оценки качества модели создается тестовая (контрольная) выборка (test sample), которая, если количество данных позволяет, не должна зависеть от обучающей. Также следует дополнительно самостоятельно проверить полученную классификацию на соответствие.

Предобработка изображений

Для создания базы данных с целью обучения нейронной сети используются заранее обработанные изображения. Это необходимо для того, чтобы обеспечить быстрое и верное обучение модели, увеличить количество данных в датасете.

Когда система получает входное изображение, ей уже известен набор категорий или меток, к которому принадлежат эти изображения. Это могут быть самые различные объекты: «стоп», «проезд запрещен», «уступи дорогу», «пешеходный переход» и т.д. Модель оценивает параметры изображения и назначает ему одну из меток классов. Для человека задача выглядит несложной, поскольку органы зрения легко выделяют признаки определенных объектов и различают их, но в случае с машинным обучением процесс становится сложнее, поскольку когда модель оценивает параметры изображения, то не видит целостное представление знака дорожного движения. Для устройства изображение – это сетка чисел. Например, если размер изображения 1 280 на 720 и каждый пиксель представлен красной, зелёной

и синей составляющими каналов цвета, то получится сетка из $1280 \times 720 \times 3 = 2,764,800$ чисел, по которому устройство не сможет выделить «зрительно» определенный объект, представленный на изображении. Эта проблема получила название «семантика систем распознавания изображений» – информационная неопределённость, невозможность понять информацию в представленном виде (в виде таблицы числовых значений) [2]. Например, если дорожный знак будет снят с другого ракурса или при плохом освещении, то вся сетка чисел будет выглядеть совершенно иначе. Помимо этого, знаки бывают различных форм и цветов, или же на изображении может оказаться только часть знака. Алгоритмы распознавания должны среди этих помех выделить и определить знак к нужному классу. Помимо этих сложностей существует ещё проблема внутриклассовых вариаций, когда одно понятие охватывает множество визуальных проявлений. Знаки, например, могут быть загрязнены или иметь дефекты, но модель все равно должна их обработать и распознать.

Именно для решения таких проблем и ускорения работы нейронной сети используется предобработка изображений.

Формирование набора данных

Для формирования набора данных в виде изображений необходимы целостность, общий формат, схожие размеры, изображение со знаками, принадлежащими разным наборам (разным дорожным знакам).

Для обучения классификатора, который «знает», к какому виду относится определённый дорожный знак, необходимы различные изображения со знаками, однако обучение на непредобработанных изображениях требует специального технического обеспечения [3].

Результатом предобработки является набор «очищенных» данных, пригодных для обработки алгоритмами машинного обучения. Такая выборка необходима для обучения модели, чтобы обучить систему и затем использовать ее для решения практических задач. Однако поскольку в процессе обучения необходимо оценивать качество модели, различают несколько типов выборок.

Таким образом, практически получаем, что имеющаяся выборка – конечное множество объектов, для которых известно, к каким классам они относятся, а классовая принадлежность остальных объектов неизвестна для модели. В процессе машинного обучения строится модель, способная классифицировать произвольный объект из исходного множества [4]. Практический смысл задач классификации состоит в предсказании возможных исходов на основе совокупности входных переменных, например: диагностика заболеваний, предварительная оценка эффективности месторождений полезных ископаемых, оценка кредитоспособности, распознавание речи, прогнозирование оттока клиентов (Churn Rate) и т.д. [5].

Для создания набора данных был использован существующий набор из «Российской базы изобра-

жений автодорожных знаков» [6]. Для составления базы RTSD использовались кадры, предоставленные компанией «Геоцентр-Консалтинг». Примеры некоторых кадров представлены на рис. 1.



Рис. 1. Примеры кадров из базы данных

Кадры изображений в базе RTSD получены с широкоформатных видеорегистраторов, установленных за лобовым стеклом автомобиля. Видеорегистраторы снимают со скоростью 5 кадров/с. Разрешение кадров – от 1280×720 до 1920×1080 элементов. Кадры сняты в различные времена года и суток (утро, день, вечер). Фотографии сделаны при различных погодных условиях.

Чтобы увеличить количество знаков, были произведены обработки получившихся изображений различными способами, такими как: обрезка, сдвиг, поворот; наложение шума и цветофильтра, размытие; изменение параметров яркости и контраста; получение черно-белых изображений. После всех обработок датасет состоял из 75 000 предобработанных изображений.

Датасет был создан и рассортирован на изображения для обучения и на тестовые, так как изображения в этих двух наборах не должны повторяться.

Дорожный знак – стандартизированный по размеру и внешнему виду объект. Несмотря на это, распознавание знаков на изображении остаётся сложной задачей по нескольким причинам: большое количество классов, высокая точность решения, влияние помех.

Разметка знаков на кадрах проводилась в два этапа. На первом этапе выделялись треки физических знаков на последовательностях кадров. На втором этапе отбрасывались неразличимые изображения знаков и каждому физическому знаку присваивался класс. На третьем этапе датасет вручную просматривался с целью проверки корректности работы модели.

Нейронные сети для распознавания изображений

Нейронная сеть – это последовательность нейронов, соединенных между собой синапсами. Структура нейронной сети была заимствована разработчиками из биологии, примером служил человеческий мозг, в котором содержатся миллионы нейронов, передающих информацию посредством электрических импульсов. С помощью такой структуры у машины появляется способность анализировать и запоминать различную информацию, т.е. нейросеть способна воспроизводить информацию из своей памяти.

Для качественной работы сети и получения правильных результатов распознавания требуется создание критериев для разделения знаков, а также для увеличения скорости и точности определения дорожного знака.

Дорожные знаки и указатели четко структурированы, систематизированы и разделены на восемь групп. В каждую группу входят знаки, схожие между собой по функциям и смысловой общности. Знаки бывают предупреждающие, приоритетные, запрещающие, предписывающие, сервисные знаки особого предписания и дополнительно информирующие.

К предупреждающим знакам относятся красно-белые символьные знаки, которые заметны издали. Эти указатели не запрещают или ограничивают что-либо, поэтому они считаются безопасными. Основная их функция – уведомление об опасных участках дороги, характере потенциальной угрозы и затруднений в движении, предостережение от ДТП (дорожно-транспортное происшествие).

Приоритетные знаки бывают различными по форме и цвету, к ним относятся знаки, которые помогают определить преимущественное право передвижения по проезжей части, перекрестку или узкой части дороги. Они бывают разными по форме и цвету. В данную группу знаков входят 13 указателей: главная дорога, движение без остановки запрещено, приоритет встречного движения и т.д.

Запрещающие знаки используются для ограничения каких-либо действий участниками дорожного движения. Они преимущественно круглой формы с черным рисунком на белом фоне.

Предписывающие знаки устанавливаются в непосредственной близости от места, где вступает в силу предписание. Знаки этой группы круглой формы с белыми рисунками на синем фоне.

Информационно-указательные знаки применяются для ввода или отмены определенного вида движения, имеют квадратную форму, используются синий, белый и черный цвета.

Знаки особого предписания соединяют в себе критерии запрещающих и предписывающих указателей.

Сервисные знаки дорожного движения используются исключительно для предоставления информации о каких-либо сервисах или возможностях, которыми можно воспользоваться поблизости. Форма и цвет у них такие же, как у информационных знаков.

Также существуют дополнительно информативные знаки, которые имеют вид таблицы прямоугольной формы.

По содержанию и информации со знака. Знаки можно разделять по той информации, которую они несут, а точнее – по тому, что на нем изображено. Изображения на дорожных знаках бывают следующие:

- цифры (скорость или иной численный указатель);
- стрелки (направление движения, тип движения, полосы и т.д.);
- линии (повороты, тип дороги, приближение к переезду и т.д.);
- «человек» (пешеходный переход, жилая зона и т.д.);
- «пустой» знак (движение запрещено, уступите дорогу и т.д.);
- транспорт (все знаки с изображением какого-либо транспорта, в том числе и велосипеда);

- животные;
- буквы (знаки населенного пункта и т.д.);
- другое (любые картинки, не входящие в группы выше, изображения зоны отдыха, пункта питания и т.д.) [7].

Для построения полносвязной нейронной сети необходимо импортировать следующие библиотеки:

1. Numpy – расширение, добавляющее поддержку больших многомерных массивов и матриц, вместе с большой библиотекой высокоуровневых математических функций для операций с этими массивами.

2. Matplotlib – библиотека для визуализации данных двумерной (2D) графикой (3D-графика также поддерживается).

3. Keras – открытая нейросетевая библиотека, нацеленная на оперативную работу с сетями глубокого обучения, которая спроектирована так, чтобы быть компактной, модульной и расширяемой.

При помощи метода `image_dataset_from_directory` необходимо считать датасет из директории. Далее с помощью библиотеки Keras строится модель классификатора с фиксированным количеством узлов в сети. В данной работе было выбрано 128 узлов. После этого построенную модель необходимо скомпилировать. Делается это методом `Model.Compile`, необходимыми параметрами для которой являются:

- функция потерь, которая измеряет, насколько точно модель во время обучения. В данной работе такой функцией является MSE;

- оптимизатор, задачей которого является минимизация функции потерь, Adam, который выполняет задачу градиентной оптимизации стохастических целевых функций первого порядка, основанный на адаптивных оценках моментов более низкого порядка;

- метрика Accuracy – это функция, которая используется для оценки работы модели.

Следующим этапом является процесс обучения нейронной сети. Так как метки для обучения модели и ассоциирование изображения по ним известны, можно проверить точность предсказаний.

Обучение запускается методом `fit`, который имеет следующие минимально необходимые параметры: обучающая выборка; метки классов обучающей выборки; количество эпох (количество повторений в обучении) [8].

После этого необходимо провести оценку классификационной способности модели. Для этого необходимо вызвать метод `Evaluate` у модели, и на вход этому методу дать тестовый набор данных и соответствующий ему вектор меток классов. Точность на тестовом наборе зачастую будет ниже, чем на обучающей выборке. Чем выше этот разрыв, тем больше показатель переобучения, и тогда необходимо варьировать параметры модели и количества эпох.

Оценка качества работы модели показала, что модель работает верно. На рис. 2 представлена диаграмма распределения точности по заданным клас-

сам: «проезд запрещен» – 1, «пешеходный переход» – 2, «главная дорога» – 3, «ограничение скорости 40» – 4, «ограничение скорости 20» – 5, «ограничение скорости 60» – 6, «только прямо» – 7, «стоп» – 8, «проезд запрещен (белый)» – 9, «пешеходный переход (синий)» – 10.

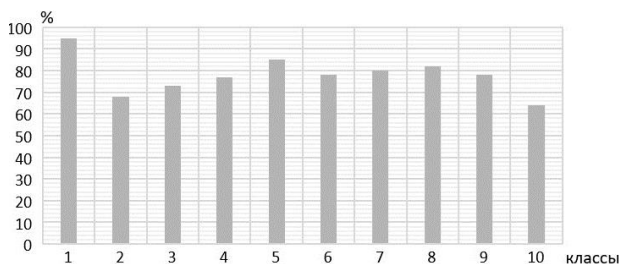


Рис. 2. Распределение точностей по классам

В ходе обучения была достигнута точность классификации, равная 78%, что является хорошим результатом, также при обработке тестового датасета был достигнут результат 78,08% точности определения классов изображений.

Для улучшения точности можно продолжить обучение на более расширенной базе данных. Также следует использовать другие алгоритмы, например ансамбли нейронных сетей.

Литература

1. Фаустова К.И. Нейронные сети: применение сегодня и перспективы развития // Территория науки. – 2017. – № 1. – С. 83–87.

2. Шарикова М.И. Иной взгляд на проблему «семантического разрыва» // НовИнфо. – 2016. – Т. 53, № 2. – С. 21.

3. Якимов П.Ю. Предварительная обработка цифровых изображений в системах локализации и распознавания дорожных знаков // Компьютерная оптика. – 2013. – Т. 37, № 3. – С. 401–405.

4. Paulin M., Revaud J., Harchaoui Z., Perronnin F., Schmid C. Transformation pursuit for image classification // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2014. – P. 3646–3653.

5. Houben S. Detection of traffic signs in real-world images: The German Traffic Sign Detection Benchmark / S. Houben, J. Stallkamp, J. Salmen, M. Schlipsing, C. Igel // Proceedings of IEEE International Joint Conference on Neural Networks. – 2013. – P. 1–8.

6. Шахуро В.И. Российская база изображений автодорожных знаков / В.И. Шахуро, А.С. Конушин // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 2. – С. 294–300.

7. О Правилах дорожного движения: Постановление Правительства РФ. – 2020. – Прил. 1.

8. Фомин И.С. Использование глубоких сверточных сетей для обнаружения дорожных знаков в задаче автовождения // Труды VI Всерос. конф. – Нижний Новгород, 2019. – С. 202–206.

Бородина Наталья Александровна
Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-999-620-05-91
Эл. почта: nataska12-14@mail.ru

УДК 004.31

Г.Е. Эдель

Глубокое обучение с использованием библиотеки TensorFlow

Представлен обзор TensorFlow. Рассмотрены его особенности, преимущества и практическое применение.

Ключевые слова: TensorFlow, глубокое обучение, обнаружение объектов.

TensorFlow – это удобная библиотека с открытым исходным кодом для численных вычислений, применимая для Python. Эта библиотека делает машинное обучение намного проще, а также быстрее. Машинное обучение – достаточно сложная технология, но с каждым годом машинное обучение и его реализация становятся проще, нежели раньше. Все это благодаря таким фреймворкам, как TensorFlow от Google. Они максимально облегчают процесс получения данных, обучения моделей, а также предоставления прогнозов и уточнение будущих результатов.

Разработанная командой Google Brain, TensorFlow – это на данный момент наилучшая библиотека для численных вычислений и крупномасштабного машинного обучения. В TensorFlow удалось объединить в себе сразу множество моделей и алгоритмов глубокого обучения, а также машинного обучения, делая их полезными в качестве общей метафоры. Еще одним достоинством является то, что TensorFlow использует Python для выдачи удобного интерфейсного API и построения приложений с помощью фреймворка, одновременно выполняя эти приложения на высокопроизводительном языке C++.

Библиотека TensorFlow может обучать и запускать глубокие нейронные сети для классификации рукописных цифр, распознавания изображений, встраивания слов, рекуррентных нейронных сетей, моделей последовательностей для машинного перевода, обработки естественного языка и моделирования на основе PDE (дифференциальных уравнений). Наилучшим образом TensorFlow справляется с прогнозированием производства в масштабе с теми же моделями, которые были использованы для обучения [1–4].

Описание TensorFlow

TensorFlow дает разработчикам возможность создавать *графики потоков* данных-структуры, описывающие, как данные меняют свое расположение по графу или ряду узлов обработки. Каждый узел в графе является математической операцией, а каждое ребро или соединение между узлами представляет собой многомерный массив данных, или, иначе говоря *тензор*.

Языком, на котором TensorFlow представляются результаты, как было упомянуто выше, является Python. Главным преимуществом Python можно назвать его довольно простое освоение. Еще одним немаловажным плюсом можно назвать способность Python предоставлять удобные способы выражения того, как высокоуровневые абстракции могут быть

соединены вместе. Тензоры и узлы в TensorFlow являются объектами Python, а приложения TensorFlow сами являются приложениями Python.

Следует отметить, что реальные математические операции не происходят в Python. Библиотеки преобразований, доступные через TensorFlow, записываются в виде высокопроизводительных двоичных файлов C++. Язык Python по сути просто направляет трафик между частями и конечно же предоставляет высокоуровневые программные абстракции, для того, чтобы связать их вместе.

Приложения TensorFlow удобны тем, что их можно запускать практически для любой удобной цели: в локальном компьютере, кластере в облаке, устройствах iOS и Android, процессорах или графических процессорах. Если используется собственное облако Google, то можно запустить TensorFlow на пользовательском процессоре Google TensorFlow Processing Unit (TPU) silicon для дальнейшего ускорения. Однако результирующие модели, созданные TensorFlow, могут быть развернуты практически на любом устройстве, где они будут использоваться для обслуживания прогнозов.

В октябре 2019 г. вышло обновление TensorFlow 2.0. Для удобства пользователей, фреймворк был доработан и стал еще более комфортным для работы (например, используя относительно простой Keras API для обучения моделей), а также производительным. Теперь такое обучение как распределенное стало легче благодаря обновленному API. Стали доступны для развертывания модели более разнообразные платформы, а все благодаря поддержке TensorFlow Lite. Недостатком является лишь то, что коды, написанные для более ранних версий TensorFlow, теперь требуют исправления. Иногда незначительно, иногда значительно, чтобы максимально использовать новые возможности TensorFlow 2.0 [4–8].

Преимущества тензорного потока

Абстракция – одно из самых больших преимуществ TensorFlow для разработки машинного обучения. Вам не придется сидеть за мелкими деталями реализации алгоритмов, а также выяснять нужные способы привязки вывода одной функции к другой, программисту в такой ситуации стоит уделить внимание общей логике приложения.

Библиотека TensorFlow предоставляет еще и дополнительные функции для разработчиков, которые отлаживают и получают самоанализ в приложениях TensorFlow. Имеется режим, который позволяет оценить и изменить каждую операцию графа от-

дельно и прозрачно, а не строить весь граф как единый непрозрачный объект и оценивать все сразу. Такой режим называется режимом «нетерпеливого выполнения». С помощью интерактивной веб-панели мониторинга TensorBoard, представляющий собой набор визуализации, способен просматривать и профилировать способ выполнения графиков.

Библиотека TensorFlow также получает много преимуществ от поддержки коммерческого оборудования A-list в Google. Google не только обеспечила быстрый темп развития проекта, но и создала множество значительных предложений вокруг TensorFlow, которые облегчают его развертывание и использование: вышеупомянутый TPU silicon для ускорения производительности в облаке Google; online hub для обмена моделями, созданными с помощью фреймворка; внутрибраузерные, мобильные воплощения фреймворка и многое другое.

Для некоторых заданий становится проблемой то, что есть такие детали реализации TensorFlow, которые затрудняют получение полностью детерминированных результатов обучения модели. Из-за этого можно столкнуться с тем, что модели, получающие одинаковые данные, будут различаться на разных системах. Причиной этого являются, например, то, как и где высеваются случайные числа или некоторые недетерминированные модели поведения при использовании графических процессоров. Однако все эти проблемы можно обойти, а развитие TensorFlow рассматривает все больше элементов управления, чтобы улучшить детерминизм в рабочем процессе [3–6].

TensorFlow против конкурентов

У TensorFlow достаточно много конкурентов. PyTorch, CNTK и MXNet – это три основных фреймворка, которые весьма похожи на TensorFlow и удовлетворяют многие потребности.

PyTorch – первое, что его объединяет с TensorFlow, так это то, что он также построен на Python. Помимо этого, он имеет и множество других сходств с TensorFlow: аппаратно-ускоренные компоненты, высокоинтерактивная модель разработки, которая позволяет проектировать работу по мере ее выполнения, и многие полезные компоненты, уже включенные в нее. Считается что PyTorch – это лучший выбор для быстрой разработки проектов. Однако для более масштабных проектов и более сложных рабочих процессов больше подходит TensorFlow.

CNTK, когнитивный инструментарий Microsoft, как и TensorFlow, использует графовую структуру для описания потока данных, но больше всего фокусируется на создании нейронных сетей глубокого обучения. CNTK быстрее справляется со многими заданиями нейронных сетей и имеет более широкий набор API (Python, C++, C#, Java). CNTK в настоящее время не так легко изучить или развернуть, как TensorFlow.

Apache MXNet, принятый Amazon в качестве основного фреймворка глубокого обучения на AWS, может масштабироваться почти линейно между не-

сколькими графическими процессорами и несколькими машинами. Он также поддерживает широкий спектр языковых API-интерфейсов-Python, C++, Scala, R, JavaScript, Julia, Perl, Go, хотя его собственные API не так комфортны для работы, как TensorFlow [5–10].

Практическое применение TensorFlow

Основной областью применения TensorFlow можно назвать обнаружение объектов. Обнаружение объектов уже широко используется для распознавания лиц, подсчета людей, проверки качества, самоуправления автомобилей, безопасности. Все алгоритмы обнаружения объекта работают по-своему, но принцип у них у всех подобен. Они извлекают признаки из входных изображений и используют эти признаки для определения класса изображения.

Данную библиотеку применим для создания простейшей программы на языке Python. Эта программа сможет распознавать объекты на изображении. Для этого напишем код (рис. 1), предварительно установив все необходимое, а именно: Python, PyCharm, TensorFlow, Keras, NumPy, OpenCV, ImageAI, а также RetinaNet.

```

1 from imageai.Detection import ObjectDetection
2 #перенос ImageAI и класса для поиска предмета
3 import os
4 #: импорт Python os
5 exec_path = os.getcwd()
6 #создание переменной, в которой указывается путь
7 #к директории с файлом Python, RetinaNet, моделью и образом
8 detector = ObjectDetection()
9 #объявление нового класса для поиска объектов;
10 detector.setModelTypeAsRetinaNet()
11 #установка типа модели RetinaNet
12 detector.setModelPath(os.path.join(
13     exec_path, "res-net50_coco_best_v2.0.1.h5"))
14 #указание пути к модели RetinaNet
15 detector.loadModel()
16 list = detector.detectObjectsFromImage(
17     in_put_image=os.path.join(exec_path, "objects.jpg"),
18     #загрузка модели внутрь класса для поиска
19     out_put_image_path=os.path.join(exec_path, "new_objects.jpg"))
20 #вызов функции обнаружения (расознавания объектов) и запуск
21 #парсинга пути начального и конечного изображений.

```

Рис. 1. Код для распознавания объектов

Результаты работы данной программы представлены на рис. 2.

На рис. 2 отчетливо видно, что данная программа способна обнаруживать объекты на изображении. Сверху над каждой рамкой обнаруженного объекта отображены имена объектов и вероятность их обнаружения в процентах. Это вероятность того, что обнаруженный объект является тем, чем его квалифицировала программа. Реализация программы по обнаружению объектов была осуществлена и успешно прошла тестирование. Данная программа позволяет с вероятностью не менее 90% обнаруживать объекты на изображении. При этом это лишь малая часть, на что способна TensorFlow. Безусловно, TensorFlow – перспективная библиотека и заслуживает внимания разработчиков и исследователей [2–6].



а



б

Рис. 2. Исходное изображение, загружаемое в программу для поиска на нем объектов – а. Обработанное программой изображение с обнаруженными на нем объектами – б

Литература

1. Шакла Н. Машинное обучение и TensorFlow. – СПб.: Питер, 2019. – 336 с.
2. Орельен Ж. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow. – СПб.: Альфа-книга, 2018. – 688 с.
3. Singh P. Learn TensorFlow 2.0: Implement Machine Learning and Deep Learning Models with Python. P. Singh, A. Manure. – CA.: Apress Media, 2020. – 164 p.

4. Ballard W. Hands-On Deep Learning for Images with TensorFlow: Build intelligent computer vision applications using TensorFlow and Keras. – CA.: Packt Publishing, 2018. – 96 p.

5. TensorFlow for Machine Intelligence. S. Abrahams, D. Hafner, E. Erwitte, A. Scarpinelli. – CA.: Bleeding Edge Press, 2016. – 305 p.

6. TensorFlow на AWS – Глубокое машинное обучение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aws.amazon.com/ru/tensorflow/>, свободный (дата обращения: 15.09.2020).

7. Официальный сайт TensorFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/>, свободный (дата обращения: 17.09.2020).

8. Официальный канал YouTube TensorFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/channel/UC0rqucBdTuFTjJiefW5t-IQ>, свободный (дата обращения: 16.09.2020).

9. Краткое руководство по Tensorflow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pythonist-ru.turbo-pages.org/pythonist.ru/s/kratkoe-rukovodstvo-po-tensorflow/>, свободный (дата обращения: 12.09.2020).

10. TensorFlow на GitHub [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/tensorflow/tensorflow>, свободный (дата обращения: 16.09.2020)

Эдель Герман Евгеньевич

Студент каф. ТУ ТУСУРа

Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050

Тел.: +7-952-683-31-97

Эл. почта: german.edel199@gmail.com

УДК 621.397

М.Е. Сукотнова, Я.К. Карпова, В.В. Капустин

Методы локализации лиц с последующей персональной идентификацией

Рассмотрены методы распознавания лиц, основные задачи распознавания, локализация лиц, а также основные методы, с помощью которых возможно распознать и локализовать лицо с дальнейшей персональной идентификацией. Была проведена программная реализация одного из алгоритмов распознавания с дальнейшей персональной идентификацией, на основе которого проводилась проверка влияния количества изображений в созданной базе данных и разрешения входного видеопотока на полученный процент схожести распознаваемого лица с лицом, находящимся в базе данных.

Ключевые слова: распознавание, локализация, идентификация, методы, эталон, метод Виолы–Джонса, нейронные сети.

За последние несколько лет системы распознавания лиц получили широкое распространение в области безопасности (защита данных, биометрия), медицины (выявление и распознавание генных нарушений), систем видеонаблюдения и многих других областях современной жизни. Сегодня распознавание лиц – не футуристические идеи, а реальный и, что важно, действующий метод, позволяющий определить, а в некоторых случаях и идентифицировать персону по входному видеопотоку или изображению. Задача выделения лица человека в естественной или искусственной обстановке и последующей идентификации всегда находилась в ряду самых приоритетных задач для исследователей, работающих в области систем машинного зрения и искусственного интеллекта [1]. Актуальность тематики состоит в несовершенстве входных данных, которые все еще являются проблемой, стоящей перед системами компьютерного зрения. К ним относятся: изменение освещенности, положения объекта изменчивости визуальных данных, метеоусловия и многие другие причины, влияющие на результат не только распознавания, но и идентификации [2].

Распознавание лиц – это один из методов, который связан с обработкой изображений, используемый системами компьютерного зрения с целью определения местоположения человеческого лица на изображении или видеопотоке. Распознавание лиц в основном осуществляется по их геометрии, т.е. по набору индивидуальных черт объекта (форма черепа, глаз, носа).

Распознавание лиц можно разделить на три основные задачи:

1. Обнаружение. На данном этапе выделяются все лица, которые были обнаружены на изображении или в видеоданных.

2. Локализация. В общем потоке обнаруженных лиц выделяется конкретное лицо с выбранными ключевыми признаками.

3. Идентификация. На основе ключевых признаков выполняется процесс моделирования, который может быть основан на кластерной модели, нейронной сети, метрике и многих других.

В свою очередь, можно сказать, что локализация лиц – это упрощенный вариант обнаружения, поскольку данная задача предполагает, что на изображении или видеопотоке присутствует только искомое лицо (лица). Эта задача основывается на обнаружении конкретного лица в общем потоке обнаруженных лиц по заданным ключевым признакам [3].

Существует множество методов распознавания лиц с дальнейшей их локализацией и идентификацией персоны, но эти методы можно разделить на следующие категории:

1. Эмпирический метод (распознавание «сверху вниз»).

2. Метод распознавания с помощью заданных шаблонов.

3. Метод обнаружения по внешним признакам [4].

Эмпирический метод

Эмпирический метод основывается на опыте распознавания лиц человеком и предполагает алгоритму реализовать такой набор данных, которому локализованный участок входного изображения (или видеопотока) должен соответствовать. Если это происходит, то локализованный участок признается лицом. Примеры таких данных:

1. Однородность яркости и цвета центральной части лица.

2. Наличие на лице отдельных черт (рот, глаза, нос), которые по яркости отличаются от остальной части лица.

3. Симметрия лица относительно вертикальной оси.

4. Разница яркости между верхней и центральной частями лица.

По набору таких данных алгоритм и определяет на входном изображении или в видеопотоке: «лицо» или «нелицо» [5].

Однако у данного метода есть существенный недостаток – невозможность его применения, если на входном изображении или в видеопотоке присутствует сложный, неоднородный и текстурный фон. Также данный метод чувствителен к поворотам и наклону головы, поскольку в таком случае будет крайне сложно найти симметрию и разницу в яркости, и поэтому число ложных срабатываний значительно увеличивается, т.е. те участки, на которых

нет лица, системой будут приняты как потенциальное лицо. Система в таком случае не сможет с большей вероятностью локализовать лицо и сказать, что на фотографии или видеопотоке тот или иной человек [6].

Метод распознавания с помощью заданных шаблонов

Суть этого метода заключается в задании шаблона или универсального образа, который может быть применен к каждому лицу. Обнаружение и локализация в данном методе основываются на сопоставлении лиц в кадре с заданным шаблоном, исходя из которого системой будет проверяться каждое лицо, которое попадает в кадр. Если лицо соответствует шаблону, то оно локализуется из общего потока лиц и распознается как «лицо». Главными недостатками этого метода является частая калибровка шаблонов и чувствительность шаблона к повороту лиц [7].

Метод обнаружения по внешним признакам

Данный метод основывается на обучении системы, при котором разработчиком вручную создается библиотека, либо же из открытых источников берется уже созданная база данных с различными лицами. В созданной библиотеке определенное число лиц, из которого одно или несколько (в зависимости от необходимого количества локализуемых лиц) являются эталонами. На рис. 1 представлен пример базы данных «The ORL Database of Faces».



Рис. 1. Пример базы данных «The ORL Database of Faces»

Поступающая масса лиц сначала распознается, а затем с помощью классификаторов, которым передаются параметры, благодаря чему и происходит сравнение эталона с множеством других объектов, находящихся в библиотеке, начинается процесс сравнения эталона с поступающим изображением или видеопотоком, в результате чего эталонное лицо или лица локализируются и идентифицируются. На рис. 2 показан процесс распознавания лица.

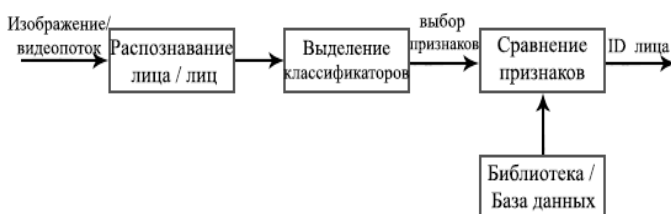


Рис. 2. Процесс распознавания лица по изображению или видеопотоку

Таким образом, классификатор – это объекты, которые были объединены в одну группу по определенным признакам, в результате чего каждой из групп был присвоен свой уникальный код. Есть множество методов выделения классификаторов. К основным методам классификации относят:

1. Метод Виолы–Джонса.
2. Нейронные сети.
3. Метод опорных векторов.
4. Скрытые марковские модели.
5. Активные модели.

На сегодняшний день самыми распространенными на практике методами являются метод Виолы–Джонса и использование нейронных сетей. В данной работе рассмотрены эти два метода.

Метод Виолы–Джонса

Метод Виолы–Джонса позволяет осуществлять быстрый поиск заданных объектов в реальном времени. В его основе лежат: использование изображений, представленных в интегральном виде с целью выбора оптимальной яркости выбранного участка изображения; признаки (примитивы) Хаара, с помощью которых осуществляется поиск нужного лица; бустинг, позволяющий выбрать подходящий признак для объекта, и каскады признаков, которые отбрасывают фрагменты, где заданное лицо не было найдено. На рис. 3 представлены некоторые признаки Хаара [8].

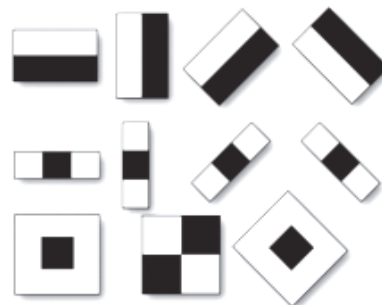


Рис. 3. Признаки Хаара

При таком методе данные поступают на вход выделенного классификатора, выдающего на выходе результат в виде «верно» или «ложь». Достоинство метода заключается в крайне низкой вероятности ложного обнаружения лица. Однако главным недостатком метода является высокая чувствительность к углу поворота. Чем больше угол поворота, тем меньше вероятность обнаружения, что является огромной преградой на пути к дальнейшей идентификации персоны [8, 9].

Нейронные сети

Нейронная сеть – это математическая модель, способная обучаться как самостоятельно, так и с помощью учителя и впоследствии на основании полученной информации совершать намного меньше ошибок по сравнению с предыдущим опытом обучения. Процесс обучения нейронной сети в обоих случаях основан на нахождении связей между нейронами – так называемыми синапсами.

Сами нейронные сети делятся на однослойные и многослойные. Разница заключается в количестве слоев: в первом случае нейронная сеть имеет только два слоя – входной, с помощью которого поступает информация, и выходной, способный эту информацию выводить. Эти два слоя напрямую соединены друг с другом. Во втором же случае к входным и выходным слоям добавляются промежуточные слои – скрытые слои, входы и выходы которых неизвестны. Однако несмотря на разное число слоев, принцип выделения классификатора и распознавания один: сначала нейронная сеть обучается на созданной библиотеке или базе данных, а затем вычленяет ключевые признаки входного изображения или видеопотока и распознает поступающие образы. Полученные данные обрабатываются с помощью специальных алгоритмов, которые призваны определять и нормализовать прямоугольный фрагмент. На этом фрагменте впоследствии нейросетью строится вектор, который сравнивается с вектором признаков созданной библиотеки или базы данных, после чего результат выдается в виде определенного числа лиц со схожими признаками. Недостатком использования нейронных сетей является долгий процесс обучения классификаторов [10]. На рис. 4 представлен наглядный пример процесса распознавания лиц с использованием нейронных сетей.



Рис. 4. Процесс распознавания лиц с использованием нейронных сетей

Программная реализация алгоритма распознавания с дальнейшей идентификацией

Данный алгоритм основан на методе обнаружения по внешним признакам. Первым шагом является создание базы данных, количество фотографий в которой прописывалось вручную. Для создания нового лица необходимо было каждый раз генерировать нового пользователя, присваивая ему свой числовой id. На рис. 5 представлен пример созданной базы данных с несколькими пользователями.



Рис. 5. Созданная база данных

Вторым шагом является создание тренировочного файла, который на основе фотографий, находящихся в базе данных, обучался для дальнейшего распознавания и идентификации. В качестве распо-

знавателя использовался алгоритм LBPH. Пример использования алгоритма LBPH представлен на рис. 6.

```
recognizer = cv2.face.LBPHFaceRecognizer_create()
```

Рис. 6. Использование алгоритма LBPH в качестве распознавателя

С помощью «getImagesAndLabels (path)» перебираются все фотографии из базы данных, после чего они преобразуются в два массива – идентификаторы (ids) и лица (faces), которые являются входными данными для обучения распознавателя. На рис. 7 представлен процесс обучения распознавателя на основе двух массивов.

```
faces, ids = getImagesAndLabels(path)
recognizer.train(faces, np.array(ids))
```

Рис. 7. Обучение распознавателя

Результатом является созданный файл формата .yaml.

В ходе последнего шага лицо, поступающее на камеру, распознается с помощью классификатора haarCascade, а затем идентифицируется на основе предыдущего обучения распознавателя с помощью функции recognizer.predict (), параметром которой является захваченная часть лица. В случае если распознаватель обучен на поступающем лице, задаваемый идентификатор и индекс в процентах, показывающий, насколько система уверена, что распознаваемое лицо соответствует лицу, взятому из базы данных, выводятся на экран. Имена (идентификаторы) выводятся с помощью переменной «names». На рис. 8 показано использование функции «names» для вывода имен при идентификации.

```
names = ['None', 'Marina', 'German']
```

Рис. 8. Вывод имен при идентификации

Таким образом, пользователь с id = 1 будет распознан как «Marina», а пользователь с id = 2 – как пользователь «German». Соответственно, лицо, на котором не был обучен распознаватель, идентифицируется под именем «None» [11, 12].

На рис. 9 представлен результат реализации алгоритма распознавания и идентификации.

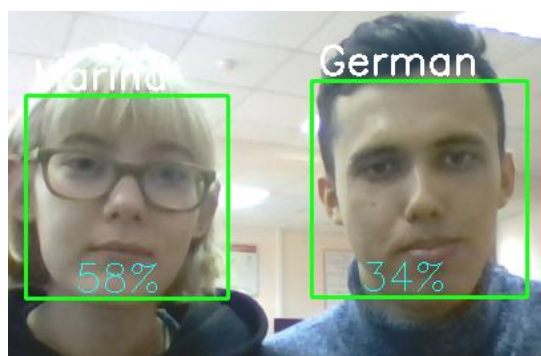


Рис. 9. Результат реализации алгоритма

В ходе реализации данного алгоритма проводился эксперимент, целью которого являлось выявление факторов, влияющих на полученный процент, показывающий, насколько система уверена, что распознаваемое лицо принадлежит тому или иному пользователю. Эксперимент проводился по двум критериям – количество изображений в базе данных и разрешение камеры (640×480 и 1280×720).

Для проверки первого критерия поочередно создавались базы данных, включающие в себя от 10 до 600 фотографий лиц. При реализации алгоритма для разного количества фотографий в базе данных было выявлено, что количество не является критерием, благодаря которому можно было бы повысить процент схожести поступающего лица с лицом, на котором был обучен распознаватель.

Проверка второго критерия (разрешения) показала, что процент схожести при более высоком разрешении увеличивается на 9–30%, что говорит о том, что более высокое разрешение способствует наиболее точному распознаванию. На рис. 10 и 11 представлены результаты идентификации, полученные при разных разрешениях.



Рис. 10. Результат идентификации при разрешении 640×480



Рис. 11. Результат идентификации при разрешении 1280×720

Однако разрешение – не единственный критерий, от которого зависит процент схожести. К таким критериям можно отнести также освещение, расстояние поступающего лица до камеры, поворот головы.

Заключение

На сегодняшний день персональная идентификация – важная сфера современной жизни человека, которая стремительно развивается. Исходя из рассмотренных в работе методов распознавания лиц с дальнейшей их локализацией и последующей идентификацией, можно сделать вывод о том, что каждый из рассмотренных методов не лишен своих недостатков. То есть при использовании каждого из методов возможен вариант ложных срабатываний как на шаге распознавания, так и на шаге идентификации, поэтому необходимо дальнейшее усовершенствование методов либо же создание новых алгоритмов, способных распознавать и идентифицировать лицо с наиболее высокой точностью.

Литература

1. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В.А. Соифера. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
2. Воронин В.В., Фоломкин Д.В. Основные этапы распознавания лиц в компьютерном зрении // X Междунар. науч.-практ. конф. «Динамика научных исследований». Sp. Zo.o. «Nauka I studia». – Przemysl, Польша, 2014. – С. 38–40.
3. Вежнев В. Обнаружение и локализация лица на изображении. Компьютерная графика и мультимедиа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/bf52/7fc1c382d529768be33f967122a7f250c3c3.pdf> (дата обращения: 03.09.2020).
4. Татаренков Д.А. Анализ методов обнаружения лиц на изображении // Молодой ученый. – 2015. – № 4(84). – С. 270–276.
5. Yang G., Thomas S. Huang. Human face detection in a complex background // Pattern Recognition. – 1994. – Vol. 27(1). – P. 53–63.
6. Kotropoulos C., Pitas I. Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1997. ICASSP-97 // IEEE International Conference, 1997. – Vol. 4. – P. 2537–2540.
7. Sinha P. Perceiving and Recognizing three-dimensional forms. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1997 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/11093> (дата обращения: 15.09.2020).
8. Буй Тхи Тху Чанг. Распознавание лиц на основе применения метода Виолы–Джонса, вейвлет-преобразования и метода главных компонент / Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, В.Г. Спицын // Изв. Том. политехн. ун-та: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – Т. 320, № 5. – С. 54–59.
9. Viola P., Jones M.J. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features // IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR-2001). – 2001. – Vol. 1. – P. 511–518.
10. Сукотнова М.Е., Карпова Я.К. Методы распознавания лиц и объектов с использованием нейронных сетей // Матер. докл. VIII рег. науч.-техн. конф. «Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения – 2019», Томск, нояб. 2019 г. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2019. – Ч. 2. – С. 476–479.
11. Real-Time Face Recognition: An End-To-End Project [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/real-time-face-recognition-an-end-to-end-project-b738bb0f7348> (дата обращения: 15.09.2020).
12. Обнаружение и распознавание лиц на Python [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://robotos.in/uroki/obnaruzhenie-i-raspoznavanie-litsa-na-python> (дата обращения: 15.09.2020).

Сукотнова Марина Евгеньевна

Студентка каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: msukotnova@mail.ru

Карпова Яна Константиновна

Студентка каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: yana992806@icloud.com

Капустин Вячеслав Валериевич

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ. ТУСУРа
Эл. почта: peregnun@mail.ru

УДК 621.397

Е.С. Чалдина, А.К. Мовчан, В.В. Капустин, М.И. Курячий

Вычислитель активных зон видения томографических систем

Предложен и реализован в программной среде MATLAB алгоритм вычисления формы активной зоны видения активно-импульсных телевизионных измерительных систем. Описаны методы определения дальности таких систем, реализованных в данной программной среде.

Ключевые слова: активно-импульсная телевизионная измерительная система, активная зона видения, моделирование, метод измерения дальности.

Моделирование различных процессов и систем является важной задачей при проведении научных исследований. Адекватные модели способны позволить решить проблемы выдвижения новых и проверки известных гипотез о работе системы, прогнозирования различных процессов, исследования функционирования систем в экстремальных условиях, а также позволяют компактно и довольно точно описать процессы и явления, характеризующие работу системы.

В связи с решением ряда конкретных задач большое внимание уделяется разработке систем, использующих активно-телевизионный метод определения дистанции. Для проведения экспериментальных исследований был разработан и модернизирован лабораторный макет активно-импульсной телевизионной измерительной системы (АИ ТИС) [1]. Подсвет пространства короткими оптическими импульсами, а также импульсный прием отраженного оптического сигнала спустя заданное время, является основным принципом работы АИ ТИС. Обычно АИ ТИС применяются для обнаружения и распознавания объектов в сложных условиях видения благодаря возможности подавления помехи обратного рассеяния [2]. Однако в АИ ТИС дополнительно возможна реализация измерения дальности до объектов. Существуют различные методы определения расстояний, реализуемые активно-импульсными приборами.

В процессе изучения возможностей исследуемой системы возникла необходимость в разработке модели, имитирующей ее работу. Для решения данной задачи было принято решение воспользоваться возможностями компьютерного моделирования.

Созданное программное обеспечение позволяет имитировать работу системы при различных условиях, задавать основные параметры и отображать результаты работы в виде графиков и численных значений. Основными модулями программы являются вычислитель активных зон видения (АЗВ) и симулятор методов измерения дальности в АИ ТИС.

Активная зона видения АИ ТИС

Для описания работы АИ ТИС широко используется определение АЗВ, которая представляет собой видимую системой область пространства. АЗВ описывает изменение распределения световой энергии в зависимости от дистанции наблюдения и степени прозрачности среды, в которой распространяется излучение [3].

Алгоритм вычисления формы АЗВ представляет собой задание исходных параметров системы, вычисление свертки импульсов с учетом расстояния и среды распространения и вывод результатов вычисления в виде формы АЗВ. Форма АЗВ является результатом свертки импульса подсвета лазерного излучателя и импульса стробирования электронно-оптического прибора (ЭОП). Вид АЗВ будет зависеть от значений длительностей и формы этих импульсов. Таким образом, при равных прямоугольных импульсах форма АЗВ будет описываться «треугольником», а в случае неравенства длительностей – «трапецией».

Следовательно, для формирования импульсов подсвета и стробирования ЭОП реализовано численное задание длительностей фронтов и вершин этих импульсов. Для получения информации о дальности наблюдения предусмотрена регулировка задержки стробирования ЭОП. Данные параметры задаются в единицах времени, а полученные импульсы и кривая АЗВ отображаются в окнах программы в виде графиков. Также предусмотрены учет закона обратных квадратов в отношении устройства подсвета и учет затухания в замутненной среде распространения.

В данном ПО свертки импульса устройства подсвета и импульса стробирования ЭОП реализуется при помощи встроенных функций используемой для моделирования программы. Программная реализация вычисления формы АЗВ АИ ТИС выполнялась в пакете прикладных программ MATLAB. Графический интерфейс для моделирования АЗВ представлен на рис. 1.

Графики форм импульсов подсвета и стробирования фотоприемника расположены в правой части интерфейса. В центральной части расположено окно для вывода результата вычисления АЗВ. Вывод характерных точек зоны в отдельных полях позволяет ускорить процесс анализа результатов вычисления. Исходные параметры системы задаются в левой части графического окна. Значения энергетического уровня графика кривой АЗВ нормируются. Реализована загрузка реальных импульсов стробирования ЭОП и устройства подсвета лабораторного макета АИ ТИС с заранее заданной задержкой стробирования. Уровень прозрачности среды распространения при вычислении формы АЗВ учитывается в виде потерь в зависимости от погодных условий в ближнем инфракрасном диапазоне с длиной волны, равной 850 нм.

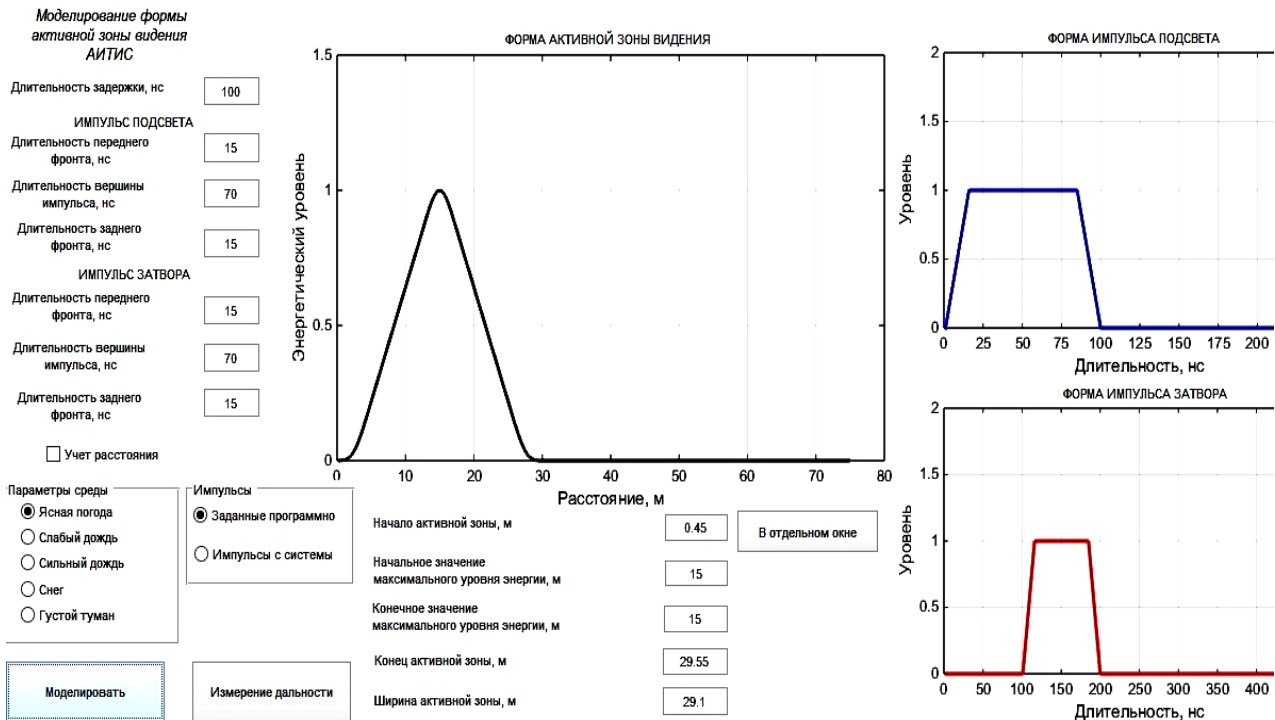


Рис. 1. Графический интерфейс для моделирования формы АЗВ АИ ТИС

Методы определения дальности, реализуемые ПО

Моделирование алгоритмов измерения дальности в данной программе реализовано в виде двух методов, применяющихся в АИ ТИС: двухзонный (ДМИД) и многозонный метод определения дальности (ММИД) [4].

ДМИД основан на использовании двух АЗВ сдвинутых по задержке стробирования на время длительности импульса подсвета. В таком методе для получения линейной зависимости энергии от расстояния предполагается использование прямоугольной формы импульсов устройства подсвета и фотоприемника одинаковой длительности, которые позволяют по нормированной разности амплитуд в первой и второй АЗВ измерить дальности до объектов наблюдения в поле зрения прибора [5].

Моделирование ДМИД предполагает первым этапом формирование характерных АЗВ, получаемых путем свертки формы импульса подсвета с формой импульса стробирования. Получение АЗВ можно представить в виде

$$X_m = \sum_{k=1}^N L_k G_{m+k}, \quad (1)$$

где X_m – отсчеты АЗВ; N – число отсчетов формы импульса подсвета; L_k – отсчеты формы импульса подсвета; G_m – отсчеты формы импульса стробирования ЭОП.

Формирование кривой развертки по дальности, описывающей распределение энергии в зависимости от расстояния до предполагаемого объекта наблюдения, происходит путем взвешивания энергий пересекающихся участков двух смещенных АЗВ и описывается следующим выражением:

$$Y_n = \frac{X_{2n}}{X_{2n} + X_{1n}} \cdot \frac{1}{2} \cdot c \cdot (\tau_L + \tau_{D_{x1}}), \quad (2)$$

где Y_n – отсчеты кривой развертки по дальности; X_{1n} – отсчеты заднего фронта первой АЗВ; X_{2n} – отсчеты переднего фронта второй АЗВ; c – скорость света; τ_L – длительность оптического импульса; $\tau_{D_{x1}}$ – длительность задержки стробирования первой АЗВ.

Оценка потенциальной точности определения дальности по ДМИД выполняется путем вычисления разности между линейной кривой развертки по дальности и кривой из модели с квазиреальными импульсами.

Многозонный метод определения дальности (ММИД) предполагает интеграцию экспозиций фотоприемного устройства, что позволяет в широких пределах регулировать динамический диапазон определения расстояний без изменения длительности импульса подсвета [6]. Таким образом, моделирование ММИД предполагает формирование множества характерных АЗВ, получаемых путем свертки формы импульса подсвета с формой импульса стробирования ЭОП. Кривая развертки по дальности в ММИД может быть описана следующим выражением:

$$Y_m = \sum_{n=1}^N X_{nm} / X_{1m}, \quad (3)$$

где Y_m – отсчеты кривой развертки по дальности; N – количество АЗВ; X_{nm} – отсчеты АЗВ; X_{1m} – АЗВ с максимальной глубиной и минимальной задержкой стробирования.

Оценка потенциальной точности определения дальности по ММИД выполняется путем вычисления разности между идеальной линейной кривой и кривой, полученной в результате моделирования.

Программно-реализованные алгоритмы определения дальности и оценка их предельной точности представлены в виде дополнительного функционального окна к приложению для моделирования АЗВ. В данном приложении имеется опция «Измерение дальности», открывающая дополнительное окно. Графический интерфейс для моделирования

алгоритмов измерения дальности в АИ ТИС представлен на рис. 2.

В данном окне есть возможность выбора алгоритма определения дальности (двухзонный, многозонный). Пользователь может задать для каждого из алгоритмов два общих параметра – шаг по расстоянию и интервал просмотра. Для каждого метода необходимо указать параметры моделирования. Для двухзонного – это задержка стробирования для каждой зоны, для многозонного – начальная задержка стробирования, шаг по задержке стробирования и количество зон.

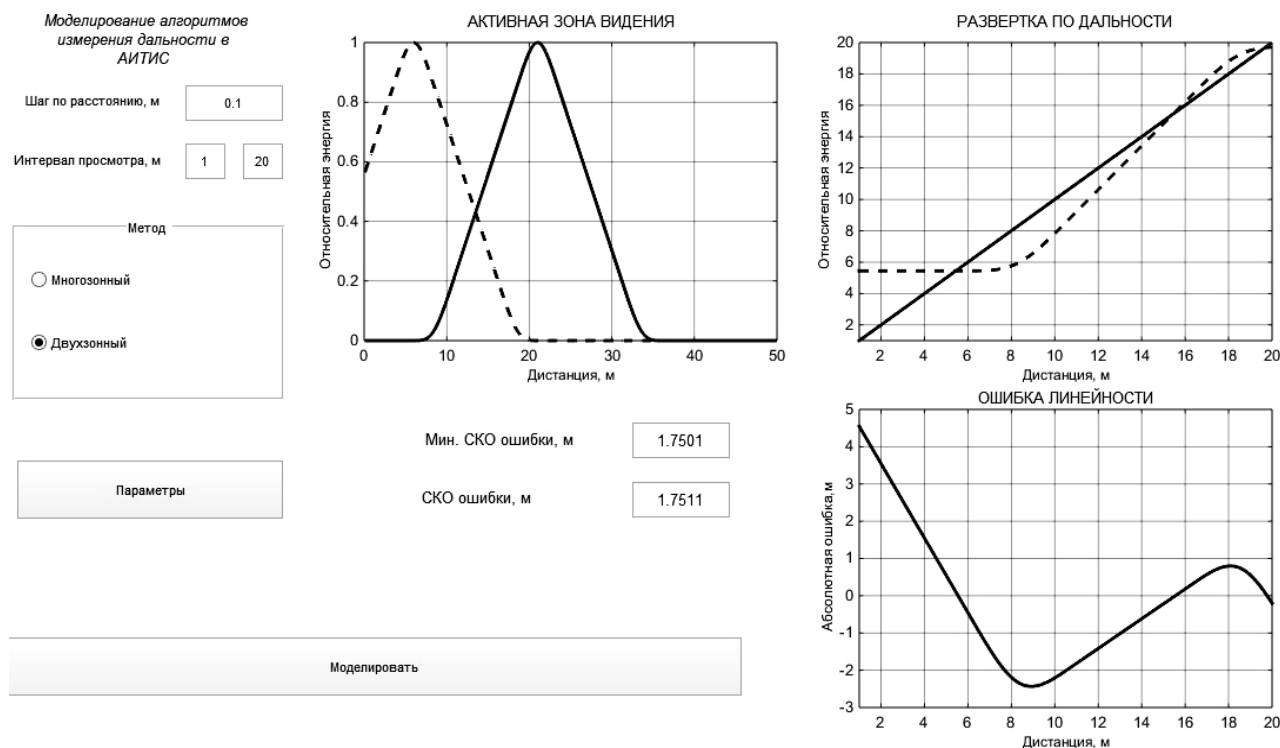


Рис. 2. Графический интерфейс для моделирования алгоритмов измерения дальности в АИ ТИС

В интерфейсе для моделирования методов измерения дальности в АИ ТИС предусмотрен вывод графиков форм АЗВ, развертки по дальности и ошибки линейности. Кроме того, выводятся значения среднеквадратического отклонения (СКО) ошибки и минимального СКО ошибки в метрах. СКО ошибки наглядно показывает отклонение полученной кривой от идеальной линейной функции развертки по дальности.

Заключение

В результате проведенной работы была создана программная среда для вычисления активных зон видения томографических систем. Данная среда позволяет исследовать не только формирование кривой активной зоны видения, но и более углубленно исследовать методы определения дальности до объектов с помощью АИ ТИС. Поведение графиков развертки по дальности и ее ошибки линейности позволяют оценить точность выбранного метода при заданных параметрах моделирования. Созданное программное обеспечение способствует дальнейшему изучению возможностей АИ ТИС.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по научному проекту № 19-37-90141.

Литература

- Капустин В.В. Активно-импульсные телевизионные измерительные системы с повышенной устойчивостью к оптическим помехам: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2017. – 118 с.
- Belov V.V., Gridnev Y.V., Kapustin V.V. et al. Experimental Estimation of Frequency-Contrast Characteristics of Active Pulsed Television Systems under Conditions of Enhanced Turbidity of Aerosol Media // Atmospheric and Oceanic Optics. – 2019. – Vol. 32(1). – P. 103–107.
- Активно-импульсные телевизионные измерительные системы для обеспечения навигации транспортных средств в сложных метеоусловиях / В.В. Капустин, А.К. Мовчан, Е.В. Зайцева и др. // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4, № 1. – С. 68–83.
- Мовчан А.К. Методы и алгоритмы прецизионного измерения дальности активно-импульсными телевизионными измерительными системами / А.К. Мовчан, В.В. Капустин, М.И. Курачий, Е.С. Чалдина // Доклады ТУСУР. – 2020. – Т. 23, № 2. – С. 7–14.

5. Xinwei W. Multi-pulse time delay integration method for flexible 3D super-resolution range-gated imaging / W. Xinwei, L. Youfu, Z. Yan // Optics express. – 2015. – Vol. 23, No. 6. – P. 7820–7831.

6. Chaldina E.S. et al. Multi-Area Range Measurement Method Using Active-Pulse Television Measuring Systems // 21-st International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). – IEEE, 2020. – С. 293–297.

Чалдина Елизавета Сергеевна

Студентка каф. ТУ ТУСУРа
Вершинина ул., 47, г. Томск, Россия, 634045
Тел.: +7-950-272-30-10
Эл. почта: chaldinaliza97@gmail.com

Мовчан Андрей Кириллович

Аспирант каф ТУ ТУСУРа
Вершинина ул., 47, г. Томск, Россия, 634045
ORCID: 0000-0002-0020-6354
Тел.: +7-923-421-94-41
Эл. почта: mr.movchann@mail.ru

Капустин Вячеслав Валериевич

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа
Вершинина ул., 47, г. Томск, Россия, 634045
ORCID: 0000-0002-2293-0511
Тел.: +7-960-969-8877
Эл. почта: peregnun@mail.ru

Курячий Михаил Иванович

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа
Вершинина ул., 47, г. Томск, Россия, 634045
ORCID: 0000-0002-3970-5644
Тел.: +7 (382-2) 41-33-80
Эл. почта: kur@tu.tusur.ru

УДК 621.397

Д.А. Лазарева, В.В. Капустин

Алгоритмы повышения качества телевизионных изображений, полученных в условиях недостаточной освещенности

Стандартная обработка изображений позволяет редактировать изображения, полученные в обычных условиях, но при недостаточной освещенности изображение получается зашумленным и темным. Это затрудняет выполнение последующих задач компьютерного зрения. В данной работе рассмотрены алгоритмы для повышения качества телевизионных изображений, полученных в условиях недостаточной освещенности, и выявлены их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: выравнивание гистограммы, динамическое выравнивание гистограммы, Retinex, multiscale Retinex model.

Повышение качества изображения при слабом освещении – один из самых сложных вопросов компьютерного зрения, он активно исследуется и используется для решения различных задач. Задача повышения качества изображений в условиях плохой видимости состоит в том, чтобы уменьшить шум и размытость и тем самым увеличить детализацию изображения.

В последнее время в большом количестве растут проекты «умных городов», и одной из необходимых задач данных проектов стала безопасность, обеспечиваемая камерами наблюдения, в том числе в ночном режиме при недостаточной освещенности. Сейчас такие функции выполняются глубокой сверточной нейронной сетью: распознавание, классификация и отслеживание объектов уже используется на практике, но все это может быть успешно применено лишь на высококачественных изображениях [1–10].

К сожалению, качество некоторых реальных изображений часто ухудшается при определенных условиях. Например, изображение, снятое в условиях низкой освещенности (из-за недостаточной информации, полученной от объекта сцены), приводит к плохой видимости, к потере контраста и размытым деталям изображения. Это является серьезной проблемой для последующих задач компьютерного зрения, так как оказывает негативное влияние для развития «умного города» в сфере безопасности, которое требует высококачественных изображений. Для того чтобы справиться с этими трудностями, в последние годы во многих научных исследованиях решались задачи улучшения изображения при слабом освещении [11, 12].

В целом эти методы можно разделить на две категории: методы с гистограммами и методы на основе Retinex. Эти подходы позволяют добиться значительных результатов в определенных условиях. Улучшение изображений при слабом освещении уже давно активно исследуется как задача обработки изображений. Существуют различные традиционные методы, такие как выравнивание гистограммы (histogram equalization (HE)), динамическое выравнивание гистограммы (dynamic histogram equalization (DHE)), повышение контрастности изображений

при слабом освещении с помощью выравнивания гистограммы и регулировки освещенности, теория на основе Retinex и мультимасштабная модель Retinex (multiscale Retinex model (MSR-net)) [13–16].

Гистограмма

Метод на основе анализа гистограммы позволяет так обработать цифровое изображение на дисплее, что любому уровню яркости (оптической плотности) в аналоговом изображении будут отвечать одинаковые числа ячеек яркости в цифровом отображении.

Выравнивание гистограммы представляет собой наиболее распространенный алгоритм улучшения изображения, поскольку он увеличивает интенсивность изображения для лучшего качества.

Однако чрезмерное усиление шума создают однородные области, что является проблемой, а также эти методы часто дают неестественные и нереалистичные результаты, потому что некоторые предварительные данные не вполне подходят для различных условий освещения.

Retinex

Метод Retinex был первой попыткой использования теории о том, что изображение можно распознать по двум факторам: отражению и освещению.

Основываясь на теории Retinex, мы можем сказать, что изображение – это продукт освещения и отражения от объекта. Метод Retinex фокусируется на динамическом диапазоне и постоянстве цвета изображения [17]. Алгоритм Retinex основан на принципах имитации устройства рецепторов сетчатки глаза человека. Он моделирует чувствительные области отдельных нейронов и процесс восприятия с помощью функции окружения. Главная цель алгоритма Retinex заключается в разделении исходного изображения S на два: R -компонента, отвечающая за отражение (reflectance image), и I -компонента, отвечающая за освещение (illumination image), так чтобы каждая точка рассчитывалась по следующей формуле:

$$S(x, y) = I(x, y) \times R(x, y). \quad (1)$$

В цветовом пространстве RGB для каждого цветового канала вычисляется компонента, отвечающая за отражение. По данной формуле достигается преобразование изображения

$$G(x, y) = \log(S(x, y)) - \log(S(x, y) \otimes F(x, y)). \quad (2)$$

Таким образом, получая и преобразовывая компоненты изображения, можно компенсировать артефакты видеопоследовательности и добиться улучшения детализации объектов в зоне видимости [18].

Метод Retinex используется для уменьшения разрыва между прямым видом сцены и захваченным изображением этой сцены. В работе [19] предложили фундаментальный Retinex, который является одноуровневым (single-scale retinex (SSR)). Он может выполнять только ограниченную задачу на изображение за раз, т.е. он может либо обеспечить полное воспроизведение, либо может использоваться для сжатия динамического диапазона изображения. Если быть точнее, то одноуровневый Retinex обеспечивает сжатие динамического диапазона (малый масштаб) или тональное воспроизведение (крупное масштабирование), но ни то ни другое одновременно.

Первым алгоритмом, основанным на технологии Retinex, был алгоритм случайного блуждания [16]. Данный алгоритм выделяет идеальное изображение в результате анализа яркостей пикселей посредством комбинирования случайно сформированных путей, начинающихся в каждом пикселе изображения. Он имеет следующие недостатки: зависимость от геометрии пути, неопределенные параметры (длина пути, количество путей), высокая вычислительная сложность. Анализ яркостей пикселей при помощи случайно сформированных путей можно заменить анализом яркостей пикселей, выбираемых по спирали с фиксированной формой, что позволяет создавать более эффективные итерационные алгоритмы, основанные на технологии Retinex.

В работе [20] предложен вариант итерационного алгоритма, основанный на пирамидальном представлении исходного изображения. Недостаток этого алгоритма – неопределенное количество итераций. В алгоритме, разработанном совместно Франке и МакКанном, не используется пирамида изображений [21]. Сравниваются пиксели на оригинале изображения, пиксели выбираются по большей спирали. Но в этом алгоритме неопределенное количество итераций и неопределенный интервал между сравниваемыми пикселями по причине того, что количество итераций, в свою очередь, имитирует человеческое зрение, что является недостатком.

Рассмотренные итерационные алгоритмы дают хорошие результаты, но имеют один существенный минус – неопределенное количество итераций, оказывающих большое влияние на результат [22].

Тестовые изображения были взяты из изображений в реальных условиях, снятых при крайне низкой освещенности. При сравнении результатов применялись наиболее распространенные традиционные методы: выравнивание гистограмм и регулировка освещенности, динамическое выравнивание гистограмм, теория на основе Retinex [13–16]. Как показано на рис. 1 (изображение вне помещения) и на рис. 2 (изображение в помещении), традиционные

методы, как правило, увеличивают яркость, но не могут восстановить естественный цвет изображения, а шум на изображении также имеет тенденцию к увеличению.

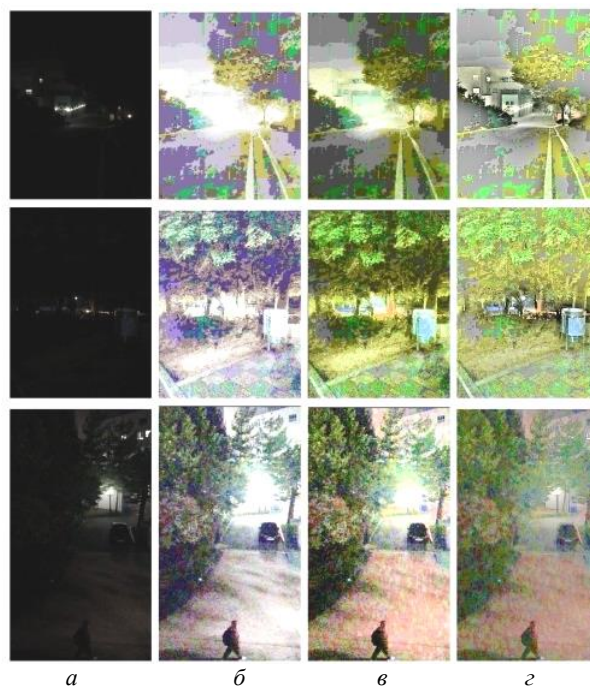


Рис. 1. Результаты тестирования с изображением вне помещения в условиях крайне низкой освещенности от первого (слева) до последнего (справа): входное изображение – а; HE – б; DHE – в; Retinex – з

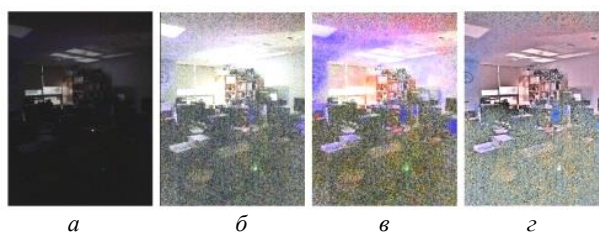


Рис. 2. Результаты снимков в помещении при очень низкой освещенности, от первого (слева) до последнего (справа): входное изображение – а; HE – б; DHE – в; Retinex – з

При рассмотрении на практике алгоритма Retinex была использована исходная фотография на рис. 3, яркость которой понижали на 10 единиц.

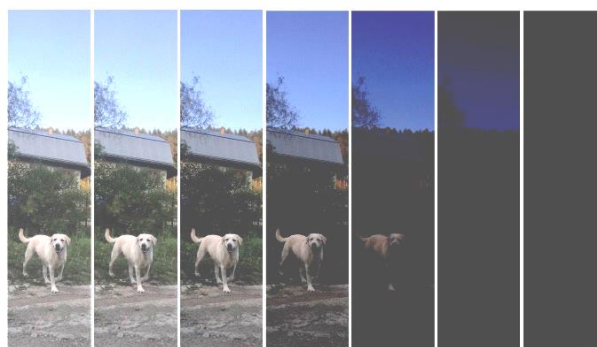


Рис. 3. Входное изображение с понижением яркости

При понижении яркости Retinex справлялся успешно до тех пор, пока изображение не стало неразличимым (рис. 4). Следовательно, Retinex действительно можно применять на фотографиях, полученных в сумеречное и вечернее время.



Рис. 4. Результаты применения алгоритма Retinex

Основным недостатком метода Retinex является то, что помимо обучения на основе данных параметры ядер имеют тенденцию зависеть от искусственных настроек, что в некоторых случаях приводит к снижению их точности и универсальности.

Multi-scale Retinex

В работе [17] был предложен другой подход – взвешенная сумма предыдущего подхода (известного как Multi-scale Retinex (MSR)). Метод MSR может обеспечить как полное воспроизведение, так и сжатие динамического диапазона одновременно для изображения. Метод MSR больше подходит для изображений в оттенках серого. Таким образом, чтобы преодолеть это ограничение метода MSR, необходим шаг для восстановления цвета исходного изображения в высоком качестве [17].

В алгоритме мультимасштабного Retinex с восстановлением цвета используется коэффициент отражения. Он поможет повысить качество детализации, благодаря использованию преимуществ различных сложных методов фильтрации. Недостатком этого метода является то, что изображение имеет тенденцию к чрезмерному усилению.

Выводы

Таким образом, у всех алгоритмов, рассмотренных в данной работе, есть свои достоинства и недостатки, поэтому на их основе необходимо дальнейшее усовершенствование и создание новых алгоритмов для повышения качества телевизионных изображений, полученных в условиях недостаточной освещенности.

Литература

1. Sheikh H.R., Bovik A.C. Image information and visual quality [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16479813/> (дата обращения: 03.09.2020).
2. Huang G., Liu Z., van der Maaten L., Weinberger K.Q. Densely connected convolutional networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2017/papers/Huang_Densely_Connected_Convolutional_CVPR_2017_paper.pdf (дата обращения: 03.09.2020).

3. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://papers.nips.cc/paper/4824-imagenet-classification-with-deep-convolutional-neural-networks.pdf> (дата обращения: 03.09.2020).

4. Simonyan K., Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1409.1556> (дата обращения: 03.09.2020).

5. Szegedy C., Liu W., Jia Y., Sermanet P., Reed S., Anguelov D., Erhan D., Vanhoucke V., Rabinovich A. Going deeper with convolutions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2015/papers/Szegedy_Going_Deeper_With_2015_CVPR_paper.pdf (дата обращения: 03.09.2020).

6. Lin T.-Y., Goyal P., Girshick R., He K., Dollár P. Focal loss for dense object detection [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2018_workshops/papers/w4/Iglovikov_TernausNetV2_Fully_Convolutional_CVPR_2018_paper.pdf (дата обращения: 03.09.2020).

7. Redmon J., Farhadi A. Yolov3: An incremental improvement [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1804.02767> (дата обращения: 03.09.2020).

8. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://papers.nips.cc/paper/5638-faster-r-cnn-towards-real-time-object-detection-with-region-proposal-networks.pdf> (дата обращения: 03.09.2020).

9. Zhao Q., Sheng T., Wang Y., Tang Z., Chen Y., Cai L., Ling H. M2det: A single-shot object detector based on multi-level feature pyramid network [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.aaai.org/ojs/index.php/AAAI/article/view/4962> (дата обращения: 03.09.2020).

10. Rezatofghi H., Tsoi N., Gwak J., Sadeghian A., Reid I., Savarese S. Generalized intersection over union: A metric and a loss for bounding box regression [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2019/papers/Rezatofghi_Generalized_Intersection_Over_Union_A_Metric_and_a_Loss_for_CVPR_2019_paper.pdf (дата обращения: 03.09.2020).

11. Jobson D.J., Rahman Z.-U., Woodell G.A. A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes, regression [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/597272> (дата обращения: 03.09.2020).

12. Shen L., Yue Z., Feng F., Chen Q., Liu S., Ma J. Msrnet: Low-light image enhancement using deep convolutional network [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1711.02488.pdf> (дата обращения: 03.09.2020).

13. Jobson D.J., Rahman Z.-U., Woodell G.A. A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18282987/> (дата обращения: 03.09.2020).

14. Abdullah-Al-Wadud M., Hasanul Kabir M., Ali Akber Dewan M., Chae O. A Dynamic Histogram Equalization for Image Contrast Enhancement [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4266947> (дата обращения: 03.09.2020).

15. Banik P.P., Saha R., Ki-Doo K. Contrast enhancement of low-light image using histogram equalization and illumination adjustment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8330564> (дата обращения: 03.09.2020).

16. Land E.H. The retinex theory of color vision [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/929159/> (дата обращения: 03.09.2020).

17. Parihar A.S., Singh K. A study on Retinex based method for image enhancement [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8398874> (дата обращения: 10.09.2020).

18. Алексеев И.С., Беленя И.А. Применение алгоритма Retinex для обработки изображений, полученных в сложных условиях освещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-algoritma-retinex-dlya-obrabotki-izobrazheniy-poluchennyh-v-slozhnyh-usloviyah-osvescheniya/viewer> (дата обращения: 07.09.2020).

19. Daniel J. Jobson, Zia-ur Rahman, Glenn A. Woodell. A Multiscale Retinex for Bridging the Gap Between Color Images and the Human Observation of Scenes освещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/597272> (дата обращения: 07.09.2020).

20. McCann J. Lessons Learned from Mondrians Applied to Real Images and Color Gamuts [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/221501975_Lessons_Learned_from_Mondrians_

[Applied_to_Real_Images_and_Color_Gamuts](#) (дата обращения: 03.09.2020)

21. Frankle J., McCann J., Method and apparatus for lightness imaging [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://patentimages.storage.googleapis.com/a7/3a/20/9d469b4741ecf0/US4384336.pdf> (дата обращения: 03.09.2020).

22. Мониц Ю.И., Старовойтов В.В. Преобразование цветных изображений на базе технологии Ретинекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/236605365_Preobrazovanie_cvetnyh_izobrazhenij_na_baze_tehnologii_Retineks (дата обращения: 12.09.2020).

Лазарева Дарья Александровна

Студентка каф. ТУ ТУСУРа

Эл. почта: lazarevadaria21@gmail.com

Капустин Вячеслав Валериевич

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа

Эл. почта: peregnum@mail.ru

УДК 621.396.41

Р.Е. Макажанов, М. Назарбек, К.А. Апевалов

Гистограммная обработка цифровых изображений и реализация ее в среде MatLab

Выполнен аналитический обзор методов гистограммной обработки. Разработан алгоритм повышения качества изображения методом гистограммной обработки в среде MatLab.

Ключевые слова: гистограммная обработка, искажения, равномерный закон распределения, повышение качества, алгоритм MatLab.

В настоящее время все большую роль в научных исследованиях и повседневной жизни занимают изображения, регистрируемые на фотоаппарат, видеокамеру и т.д.

Получаемые изображения подвергаются разным искажениям, таким как искажения оптической системы, осветительной аппаратуры, также зависят от качества прибора, на котором появляется изображение. Также есть искажения, вносимые электронным приемником, так называемые электронные шумы. Искажения сильно влияют на визуальный анализ, поэтому стоит вопрос о фильтрации изображения для повышения качества изображения.

Методов фильтрации и обработки множество, но в данной работе будет изучен гистограммный метод. Он основан на выравнивании гистограммы исходного изображения путем ее эквализации [1].

Из-за высокой эффективности методы гистограммной обработки широко используются для обработки изображений. Существует много методов гистограммных преобразований, позволяющих решить большое количество задач по обработке изображений. Методы данного класса бывают глобальными и локальными. Основное преимущество глобального метода – это скорость обработки изображения, но скорость влияет на качество обработки. Невозможно обработать тонкоструктурное изображение. Для этого необходимо воспользоваться локальной гистограммной обработкой. Данный метод по скорости обработки проигрывает глобальному, но качество обработки мелких деталей улучшается.

Из этого можно сделать вывод, что нужно подобрать наилучший вариант обработки в зависимости от решаемой задачи, если важна скорость, используется глобальный метод гистограммной обработки, если качество работы с мелкими деталями, то локальный [2].

Цель данной работы состоит в выборе наиболее эффективного метода гистограммной обработки, позволяющего повысить качественные характеристики изображения и применить их к как можно большему количеству искаженных изображений и реализовать его в среде MatLab. Для этого необходимо изучить все виды гистограммной обработки; подобрать и реализовать наиболее эффективный метод.

Гистограммная обработка

Гистограмма изображения – это диаграмма, позволяющая оценить значение тонов на изображе-

нии [3]. Они показывают, сколько тонов определенной яркости находится на изображении, от черного до белого (рис. 1).



Рис. 1. Гистограмма изображения

Если уточнить это понятие, то гистограмма цифрового изображения – это дискретная функция в диапазоне яркости

$$h(r_k) = n_k, \quad (1)$$

где r_k – k -й уровень яркости; n_k – число пикселей.

На практике нормировка гистограммы происходит при делении каждого из ее значений на общее число пикселей, и обозначается произведением MN , где M – число строк, а N – число столбцов. Следовательно значение нормированной гистограммы будет равно

$$p(r_k) = n_k / MN, \quad (2)$$

где $p(r_k)$ – это оценка вероятности появления пикселя со значением яркости r_k .

Реализация эффективного метода гистограммной обработки в среде MatLab

Гистограмма распределения интенсивностей пикселей является одной из наиболее важных характеристик изображения. Именно гистограмма в некоторых случаях может служить основой для выбора того или иного метода обработки изображения [4].

Наиболее распространенный способ построения гистограммы изображения – это использование функции `imhist`. На рис. 2 изображена гистограмма исходного изображения.

С помощью функции `plot` можно построить график по точкам, соединяя их линиями (рис. 3).

На основе анализа гистограммы можно судить о яркостных искажениях изображения. В идеальном изображении количество значений яркости должно быть одинаковым, гистограмма равномерна.

Перераспределение яркостей пикселей на изображении, т.е. выравнивание гистограммы, выполняет метод эквализации, который в среде MatLab выполняет функция `histeq`.

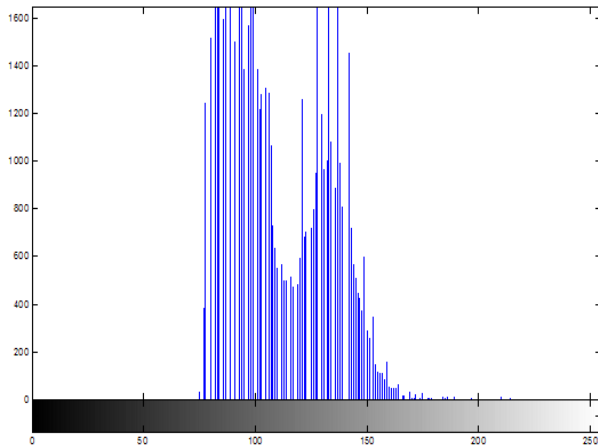


Рис. 2. Гистограмма исходного изображения, построенная с использованием функции `imhist`

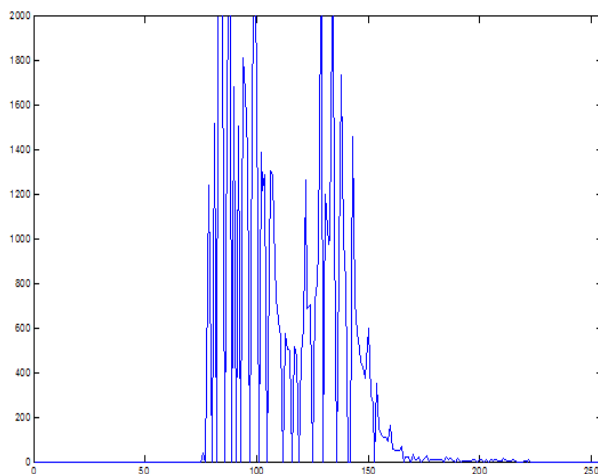


Рис. 3. График по точкам, построенный с помощью функции `plot`

Такие преобразования не всегда эффективны. Результат таких преобразований зависит от гистограммы исходного изображения. Часто изображения имеют высокий уровень качества визуального восприятия, но при этом их гистограмма не является равномерной [5]. Поэтому рассмотрим задачу преобразования формы гистограммы изображения к заданному виду.

Сформируем различные формы гистограмм:

1. Равномерный закон распределения гистограммы (рис. 4).

```
Q1=256.*ones(1,256);
figure,plot(Q1);
```

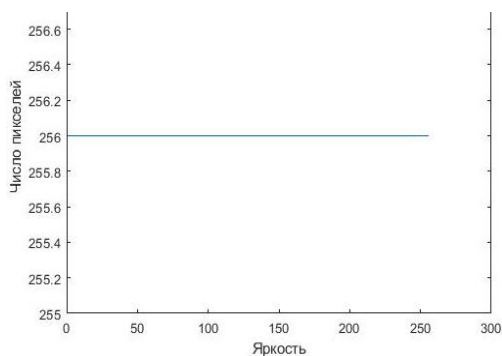


Рис. 4. Равномерная гистограмма

2. Пилообразный закон распределения гистограммы (рис. 5).

```
Q21=[4:4:508];
Q22=[512:-4:0];
Q2=[Q21,Q22];
Q2=Q2(:);
Q2=Q2';
figure,plot(Q2);
```

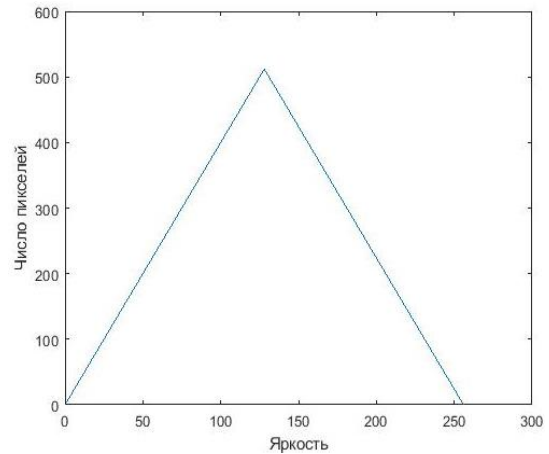


Рис. 5. Пилообразная гистограмма

3. Треугольный закон распределения гистограммы (рис. 6).

```
Q3=[514:-4:4];
figure,plot(Q3);
```

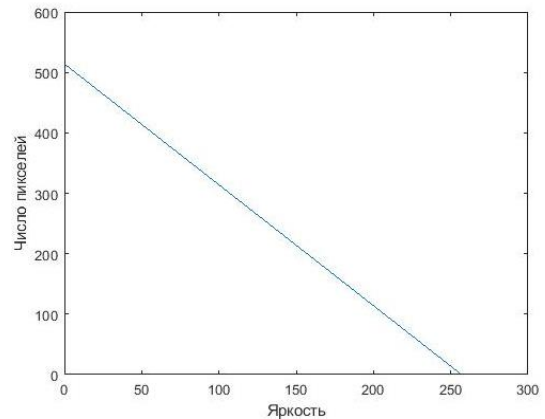


Рис. 6. Треугольная гистограмма

4. Экспоненциальный закон распределения гистограммы (рис. 7).

```
Q4=260.75*(-log(1:255)+5.5413);
figure,plot(Q4);
```

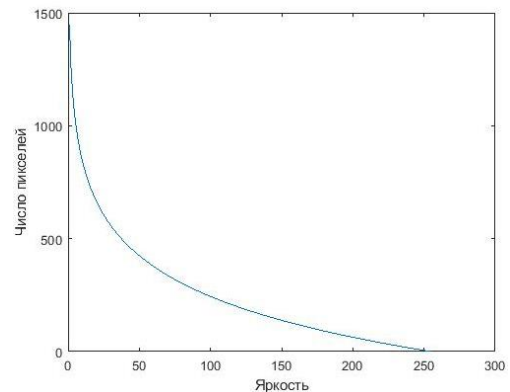


Рис. 7. Экспоненциальная гистограмма

5. Синусно-экспоненциальный закон распределения гистограммы (рис. 8).

```
x=[0:255];
Q5=7000.*exp(-x/85).*abs(cos(pi/2-
pi*(x+15)/45));
figure,plot(Q5);
```

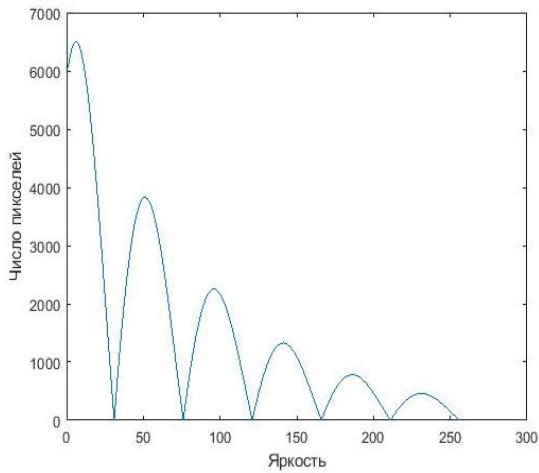


Рис. 8. Синусно-экспоненциальная гистограмма

6. Нормальный закон распределения гистограммы (рис. 9).

```
x=[0:255];
Q6=65536.*(1/((127.5/3)*sqrt(2*pi))).*
exp(-((x-127.5).^2)/(2*((127.5/3)^2)));
Q6=round(Q6);
figure,plot(Q6);
```

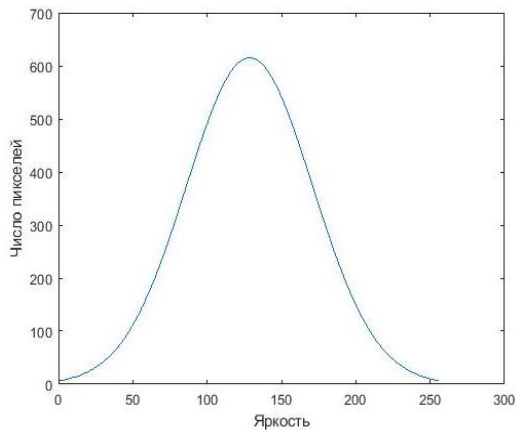


Рис. 9. Нормальный закон распределения гистограммы

Для примера возьмем некоторое изображение и преобразуем его гистограмму во все вышеперечисленные виды и определим наилучший.

Возьмем изображение (рис. 10) и определим его гистограмму (рис. 11).

1. Преобразуем гистограмму к равномерному закону распределения, и выводим, сравнивая с исходным изображением (рис. 12).

Приведем к равномерному закону распределения. Как видно, значение яркости увеличилось в диапазоне от 200 до 255.

2. Преобразуем гистограмму к треугольному закону распределения, и выводим, сравнивая с исходным изображением (рис. 13).



Рис. 10. Исходное изображение

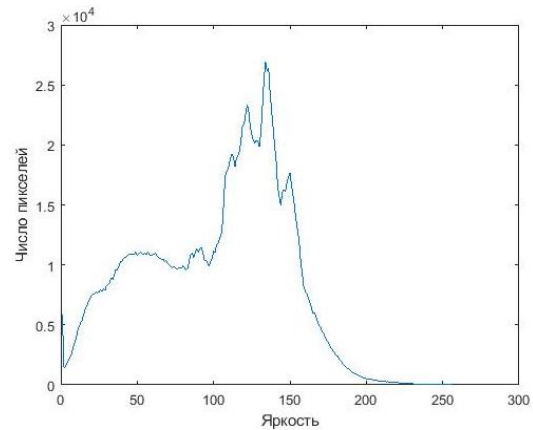


Рис. 11. Гистограмма исходного изображения

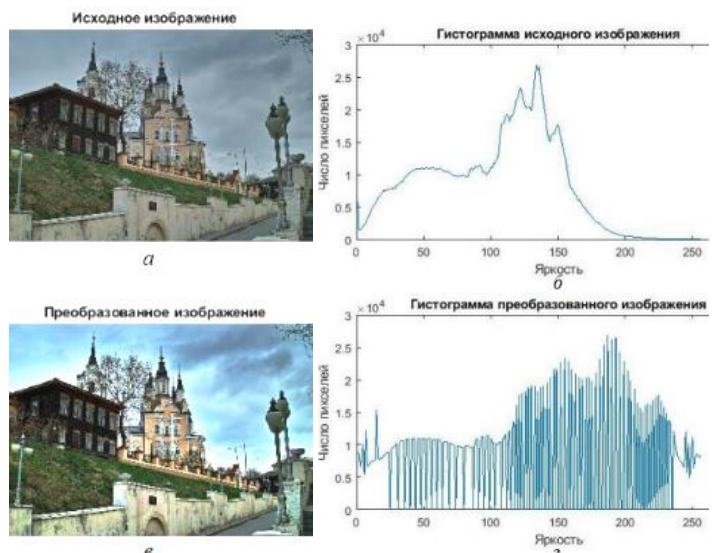


Рис. 12. Исходное изображение (а), гистограмма исходного изображения (б), преобразованное изображение к равномерному закону распределения (в), гистограмма преобразованного изображения

3. Преобразуем гистограмму к пилообразному закону распределения и выводим, сравнивая с исходным изображением (рис. 14).

Как видно гистограмма изменилась, стала в более темных тонах и изображение стало тусклым.

4. Преобразуем гистограмму к экспоненциальному закону распределения и выводим, сравнивая с исходным изображением (рис. 15).

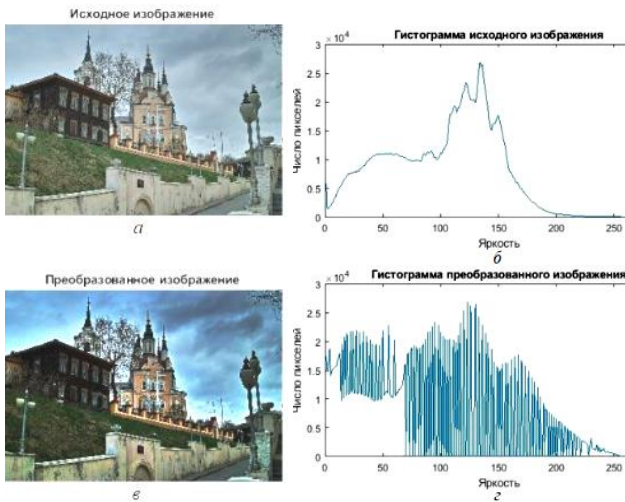


Рис. 13. Исходное изображение (а), гистограмма исходного изображения (б), преобразованное изображение к треугольному закону распределения (з), гистограмма преобразованного изображения

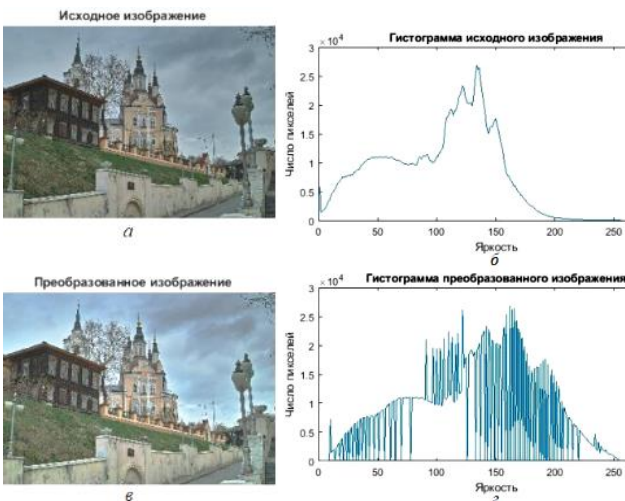


Рис. 14. Исходное изображение (а), гистограмма исходного изображения (б), преобразованное изображение к пилообразному закону распределения (з), гистограмма преобразованного изображения

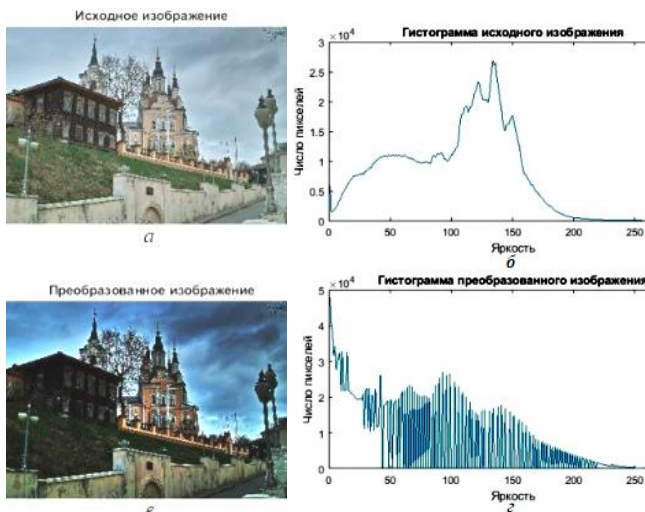


Рис. 15. Исходное изображение (а), гистограмма исходного изображения (б), преобразованное изображение к экспоненциальному закону распределения (з), гистограмма преобразованного изображения

Как видно из рис. 15 гистограмма сместилась в левую сторону и изображение стало темным.

5. Преобразуем гистограмму к синусо-экспоненциальному закону распределения и выводим, сравнивая с исходным изображением (рис. 16).

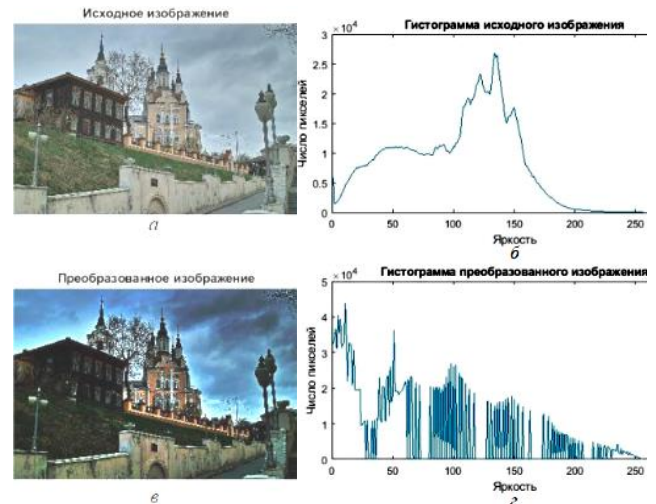


Рис. 16. Исходное изображение (а), гистограмма исходного изображения (б), преобразованное изображение к синусо-экспоненциальному закону распределения (з), гистограмма преобразованного изображения

Также и при применении синусо-экспоненциального закона распределения изображение стало более темным.

6. Преобразуем гистограмму к нормальному закону распределения и выводим, сравнивая с исходным изображением (рис. 17).

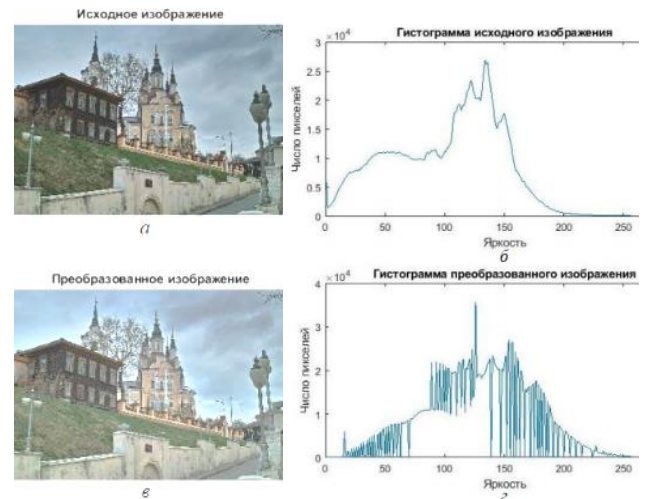


Рис. 17. Исходное изображение (а), гистограмма исходного изображения (б), преобразованное изображение к нормальному закону распределения (з), гистограмма преобразованного изображения

Из рис. 12–17 можно сделать вывод, что для исходного изображения оптимальный вид преобразованной гистограммы получается при равномерном законе распределения. По рис. 11 и 18 можно увидеть разницу.

Алгоритм данного метода состоит в том, что мы находим изображение, которое необходимо преобразовать, далее загружаем данное изображение, выводим его на экран, также выводим гистограмму исходного изображения. После этого необходимо подобрать фигуру, к которой будем приводить исходную гистограмму. Приводим гистограмму к заданному виду и выводим результат на экран. Данный алгоритм представлен на рис. 19.



Рис. 18. Изображение, преобразованное равномерным законом распределения



Рис. 19. Блок-схема алгоритма

Заключение

Из всех видов, к которому можно привести гистограмму, наилучшим было привести к равномерному закону распределения. Количество пикселей

при значении от 150 до 255 увеличилось, благодаря этому изображение стало более светлым, преобладают более теплые и естественные цвета в отличие от других методов, при которых изображение становилось или более темным, или более светлым.

Подводя итоги, можно сказать, что встроенная команда `histeq` не всегда позволяет улучшить качество изображений, необходимо приводить искаженные гистограммы к определенному виду. Наиболее эффективный метод – это приведение гистограммы к равномерному закону распределения, при котором изображение становится более контрастным и появляются естественные цвета.

Литература

1. Математическая модель изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/6-19172.html>
2. Реализация методов гистограммных преобразований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lektsii.org/2-28274.html>
3. Цифровая обработка изображений / Р.С. Гонсалес, Р.Е. Вудс. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Техносфера, 2012. – Гл. 3. – С. 160–170.
4. Зражевский А.Ю., Кокошкин А.В., Новичихин Е.П., Титов С.В. Повышение качества радиоизображений // Нелинейный мир. – 2010. – № 9. – С. 582–590.
5. Экспонента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hub.exponenta.ru/post/kratkiy-kurs-teorii-obrabotki-izobrazheniy734> (дата обращения: 1.06.2020).

Макажанов Рустам Ерболович

Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: rustam_makazhanov@mail.ru

Назарбек Мадияр

Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: nazarbekmadiar@gmail.com

Апевалов Кирилл Андреевич

Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: anderxil@mail.ru

УДК 621.396.41

М. Назарбек, Р.Е. Макажанов, К.А. Апевалов

Применение нерезкого маскирования для обработки изображения в среде MatLab

Представлена программная реализация метода нерезкого маскирования для обработки изображения, данный метод позволяет улучшить резкость изображения. Для этого было выполнено ознакомление с методом нерезкого маскирования с подъёмом высоких частот с использованием масок пространственной фильтрации.

Ключевые слова: нерезкое маскирование, фильтрация, изображение, обработка, среднеквадратическая ошибка, пиковое отношение сигнал/шум.

Визуальная информация имеет огромное значение для человечества. Одной из базовых задач нашего времени считается неувязка зрительного восприятия с изображением. Эффект размытия является одним из самых частых проблем, происходящих в цифровых изображениях, в которых сильно снижается визуальное качество изображения, делая трудным для восприятия его деталей [1].

Цифровая обработка изображений считается активно развивающейся научной областью. В настоящее время практически нет областей, которые бы не оказывали влияние на цифровую обработку изображений. Главной задачей цифровой обработки изображений считается совершенствование качества изображения [2].

Оценку качества изображения обычно связывают с выбором метода обработки изображения. Большинство методов оценки качества изображения используют сравнение обработанного изображения с исходным. К ним относятся СКО – среднеквадратичная ошибка, ПОСШ – пиковое отношение сигнал/шум [3].

Применение метода нерезкого маскирования с использованием масок пространственной фильтрации

Нерезкое маскирование – это способ цифровой обработки изображений, заключающийся в удалении из изображения его нерезкой (сглаженной) копии, которая позволяет достичь эффекта визуального повышения резкости [4].

Данный метод выполняется в нескольких этапов.

1. Создается нерезкое изображение.
2. Выполняется вычитание из исходного изображения нерезкого изображения (результатом такой разности будет маска).

3. Прибавление к маске исходного изображения.

Обозначим исходное изображение функцией $f(x, y)$. Обработывая изображение сглаживающим фильтром, получаем нерезкое изображение $f^*(x, y)$. Результат разности этих изображений – маску – обозначим $g_{\text{mask}}(x, y)$, что видно из формулы [4]

$$g_{\text{mask}}(x, y) = f(x, y) - f^*(x, y), \quad (1)$$

Затем маска с заданным коэффициентом k прибавляется к исходному изображению, как показано в формуле [5]

$$g(x, y) = f(x, y) + kg_{\text{mask}}(x, y). \quad (2)$$

Процесс, при котором коэффициент $k = 1$, и называется нерезким маскированием. При $k > 1$ процесс называется фильтрацией с подъемом высоких частот, а при $k < 1$ вклад нерезкой маски снижается [5].

Есть разные виды масок, которые используются для обработки изображения: Лапласа, Гаусса, Собеля, Робертса, Превитта, скользящие средние и низкочастотные линейные маски.

На рис. 1 показано некоторое количество масок, которые будут использоваться для обработки изображений.

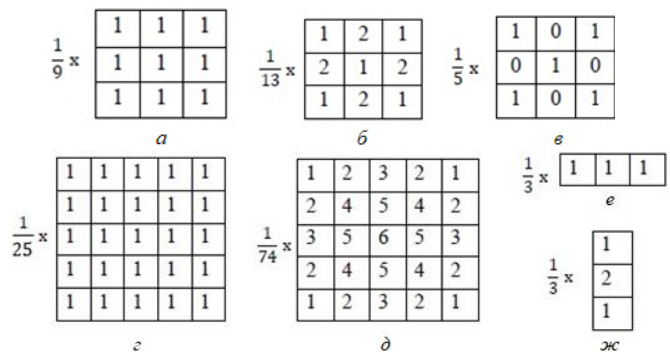


Рис. 1. Маски, которые используются при нерезком маскировании

Обработка изображений масками

С помощью программы MatLab был выполнен эксперимент. Было взято 8-битное изображение с разрешением 600×600 пикселей. Впоследствии изображение подвергалось искажениям несколькими видами шумов: Гаусса, «соль и перец», Пуассона и мультипликативного.

Далее изображение обрабатывалась масками, которые показаны на рис. 1. Для реализации алгоритма низкочастотной фильтрации был разработан программный код.

После чего рассчитывалось среднеквадратическое отклонение (СКО) и ПОСШ [6]:

$$\text{ПОСШ} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Мак}^2}{\text{СКО}} \right), \quad (3)$$

$$\text{СКО} = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} (x_{(i,j)} - y_{(i,j)}), \quad (4)$$

где Мак – максимальное значение, принимаемое пикселем изображения; СКО – среднее квадратическое отклонение. Для 8-битных изображений $\text{Мак} = 255$.

Практические результаты нерезкого маскирования изображений в среде MatLab

В данном разделе представлены изображения, полученные при алгоритме нерезкого маскирования с использованием масок пространственной фильтрации.

На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма реализации нерезкого маскирования в среде MatLab.

Алгоритм нерезкого маскирования выполняется следующим образом: берется входное изображение, подвергается низкочастотной линейной фильтрации, далее выполняется вычитание из исходного изображения нерезкого изображения, результатом будет маска, к которой будет прибавляться исходное изображение. После высчитываются среднее квадратическое отклонение и пиковое отношение сигнал/шум.

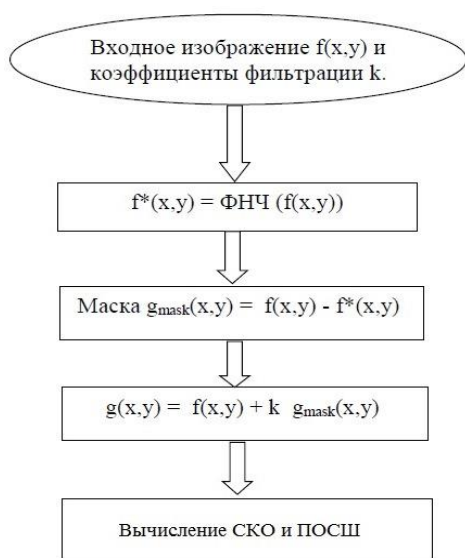


Рис. 2. Блок-схема алгоритма нерезкого маскирования

Для дальнейшей реализации было выбрано исходное изображение, которое предоставлено на рис. 3.

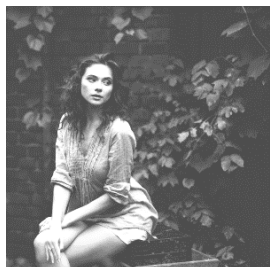


Рис. 3. Исходное изображение

При обработке методом нерезкого маскирования видно, что чем больше коэффициент k , тем большая резкость конечного изображения.

На рис. 4 представлен результат обработки изображений, искаженных Гауссовым шумом методом нерезкого маскирования при помощи маски Д.

На рис. 5 представлен результат обработки изображений, искаженных Гауссовым шумом, методом нерезкого маскирования при помощи маски Ж.

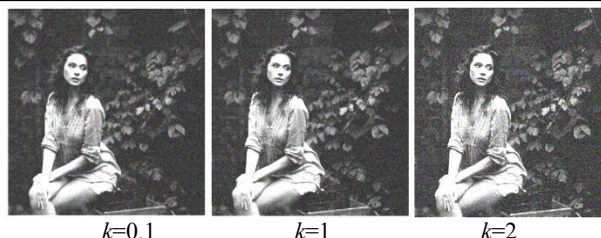


Рис. 4. Обработка Гауссова шума при помощи маски Д

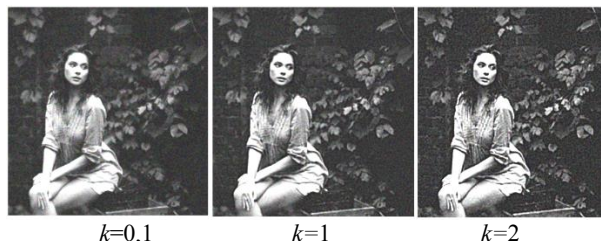


Рис. 5. При обработке Гауссова шума с помощью маски Ж

На рис. 6 представлен результат обработки изображений, искаженных шумом «соль и перец», методом нерезкого маскирования при помощи маски Д.



Рис. 6. При обработке шумом «соль и перец» (маска Д)

На рис. 7 представлен результат обработки изображений, искаженных шумом «соль и перец», методом нерезкого маскирования при помощи маски Ж.

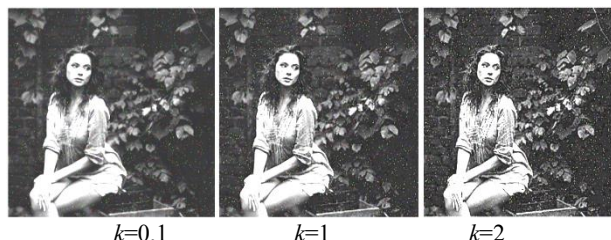


Рис. 7. При обработке шумом «соль и перец» (маска Ж)

На рис. 8 представлен результат обработки изображений, искаженных Пуассоновым шумом методом нерезкого маскирования при помощи маски Д.



Рис. 8. При обработке шумом Пуассона (маска Д)

На рис. 9 представлен результат обработки изображений, искаженных Пуассоновым шумом, методом нерезкого маскирования при помощи маски Ж.



Рис. 9. При обработке шумом Пуассона (маска Ж)

На рис. 10 представлен результат обработки изображений, искаженных мультипликативным шумом, методом нерезкого маскирования при помощи маски Д.



Рис. 10. При обработке мультипликативным шумом (маска Д)

На рис. 11 представлен результат обработки изображений, искаженных мультипликативным шумом методом нерезкого маскирования при помощи маски Ж.



Рис. 11. При обработке мультипликативным шумом (маска Ж)

Для более простого анализа полученных результатов все данные сведены в табл. 1–4, в которых отображены результаты, полученные при обработке изображения Гауссовым шумом, шумом «соль и перец», шумом Пуассона, и результаты при обработке изображения с мультипликативным шумом.

Таблица 1

Результаты при обработке изображения с Гауссовым шумом

Гауссов шум	$k = 0,1$		$k = 1$		$k = 2$	
	СКО	ПОСШ	СКО	ПОСШ	СКО	ПОСШ
Маска Д	9,2	30,53	13,7	28,74	16	23,5
Маска Ж	7,6	21	8,2	19,83	9,41	17,86

Таблица 2

Результаты при обработке изображения с шумом «соль и перец»

Шум «Соль и перец»	$k = 0,1$		$k = 1$		$k = 2$	
	СКО	ПОСШ	СКО	ПОСШ	СКО	ПОСШ
Маска Д	11,3	30,64	13,4	29,75	13,57	28,87
Маска Ж	0,97	21,76	1	20,4	2	18,63

В результате выполненной работы можно сделать вывод о том, что метод нерезкого маскирования при использовании масок пространственной филь-

трации, у которого выше значение пикового отношения сигнал/шум и ниже значение среднеквадратического отклонения, дает существенное повышение резкости результирующего изображения.

Таблица 3

Результаты при обработке изображения с шумом Пуассона

Шум Пуассона	$k = 0,1$		$k = 1$		$k = 2$	
	СКО	ПОСШ	СКО	ПОСШ	СКО	ПОСШ
Маска Д	3,42	37,42	4,47	31,84	5,21	29,14
Маска Ж	0,37	58,77	2,66	39,76	4,68	34,7

Таблица 4

Результаты при обработке изображения с мультипликативным шумом

Мультипликативный шум	$k = 0,1$		$k = 1$		$k = 2$	
	СКО	ПОСШ	СКО	ПОСШ	СКО	ПОСШ
Маска Д	4,62	34,83	4,57	34,92	5,43	33,42
Маска Ж	2,19	41,31	4,30	35,45	6,21	32,25

Маски Д и Ж лучше сглаживают и подавляют шум на изображение и подменяют начальные значения пикселей средним значением над маской фильтра, сокращают «резкие» переходы значения яркости. Основное достоинство использования этих масок заключается в подавлении «несущественных» составных частей на изображении, так как при сглаживании с помощью этих масок получается ослабление высокочастотных компонент изображений.

Литература

- Краснящих А.В. Обработка оптических изображений. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 129 с.
- Цифровая обработка изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровая_обработка_изображений (дата обращения: 13.05.2020).
- Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учеб. пособие / И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин, А.А. Спектор. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 352 с.
- Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1027 с.
- Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде Matlab / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
- Сравнение объективных методов оценки качества цифровых изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/mac/jun15/15/text.html> (дата обращения: 07.06.2020).

Назарбек Мадияр

Студент каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: nazarbekmadiar@gmail.com

Макажанов Рустам Ерболович

Студент каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: rustam_makazhanov@mail.ru

Апвалов Кирилл Андреевич

Студент каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: anderxil@mail.ru

УДК 004.588

В.А. Семиглазов, С.В. Серебренников**Технологии 3D-сканирования в образовании**

Рассмотрены методы обучения 3D-технологии, которая активно проникает во все сферы жизни, от проектирования и строительства огромных зданий до печати на молекулярном уровне. Многие предметы и формы можно создать только с помощью технологии 3D-сканирования и 3D-печати – от создания виртуальных копий деталей механизмов, древних статуэток и простых предметов быта до сканирования огромных зданий и территорий. Обучение технологиям 3D-сканирования на сегодняшний день является актуальной задачей.

Ключевые слова: 3D-сканирование, 3D-печать, 3D-технологии, образовательный процесс.

Трехмерное, или 3D-сканирование, – это процесс представления физического объекта его цифровой моделью. Для получения трехмерных моделей существует множество устройств сканирования, выполненных по различным технологиям. Полученная цифровая модель доступна для постобработки в различном специализированном ПО. При этом в полученную цифровую модель после сканирования объекта можно внести некоторые корректировки и исправить ошибки сканирования. Сама модель становится доступной для дальнейшей обработки в различных программах 3D-моделирования, где ее возможно достроить или модифицировать. Таким образом, взяв за основу реальный физический объект, можно его воспроизвести или по своему желанию реализовать новый физический объект с изменениями посредством 3D-принтера.

Несмотря на кажущуюся простоту алгоритма воспроизводства и модификации физических объектов, процессы 3D-сканирования, моделирования и печати требуют определенного навыка и опыта, а многие фирмы, стремящиеся внедрить в свою деятельность данные технологии, испытывают кадровый голод [1, 2].

Учитывая вышесказанное, нам представляется полезным внедрение курса 3D-технологий в процесс обучения в вузе. Учитывая стремительное проникновение данных технологий во все сферы деятельности, выпускникам будет полезно обладание востребованными компетенциями [3, 4].

Помимо теоретической составляющей, студенты должны получить большой опыт в работе на оборудовании и освоить необходимое ПО. Для этих целей разработан лабораторный практикум из 12 лабораторных работ по 3D-сканированию и печати, который будет реализовываться в рамках курса 3D-технологии и на групповом проектном обучении.

Лабораторный практикум преследует цели получения студентами необходимых компетенций в работе с 3D-оборудованием и специальным программным обеспечением для создания технологической цепочки от сканирования объекта до получения его цифровой модели и копии объекта в произвольном масштабе [5].

Для примера представим тематику первых трех лабораторных работ из практикума.

1. Изучение устройства 3D-сканера, его сборка, настройка, калибровка, установка необходимого программного обеспечения – это ознакомительная работа, позволяющая студентам ознакомиться с устройством 3D-сканера, его настройки и подключением к ПК.

2. Изучение процесса сканирования – получение трехмерной модели объекта. В этой работе студенты знакомятся с процессом сканирования и приобретают навык управления им – правильное расположение объекта сканирования, подбор режимов работы сканера.

3. Изучение объектов сканирования (темные объекты, металлы). Цель этой работы – приобретение навыков по работе со сложными объектами с точки зрения процесса сканирования – черные, блестящие и прозрачные объекты плохо распознаются сканером.

4. Изучение объектов сканирования (кубические, круглые). Тема работы совпадает с темой лабораторной работы № 3, различие только по объектам сканирования.

5. Проведение сканирования с помощью функции «сканирование по трем точкам». Тема работы – это изучение более сложного сканирования и применение новых функций. Благодаря такой работе студенты должны научиться формировать 3D-модели корректно.

6. Постобработка готовых 3D-моделей в программе Netfabb basicv5.2. Тематика работы заключается в овладении навыков постобработки 3D-модели после сканирования. Работа обучит студентов подготавливать виртуальные модели к печати на 3D-принтере.

Содержание лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Содержание работы
1. Изучение устройства 3D-сканера, его сборка, настройка, калибровка, установка необходимого программного обеспечения	Необходимо провести сборку 3D-сканера в рабочее состояние. Провести настройку всех его элементов. Установить на ПК все необходимое программное обеспечение для работы (идет в комплекте с 3D-сканером). Сделать калибровку сканера (подготовить его к работе). Изучить принцип работы сканера, его комплектацию, интерфейсы. Разобраться в особенностях и назна-

Наименование лабораторной работы	Содержание работы
	чений имеющихся форматов трехмерных моделей (SLT, OBJ). Провести первое пробное сканирование. Убедиться в правильности работы 3D-сканера [6]
2. Изучение процесса сканирования – получение трехмерной модели объекта	В ходе работы необходимо провести более сложное сканирование в различных режимах. Сравнить результаты сканирования и сделать выводы о том, какие режимы работы подходят для различных объектов. Научиться управлять режимом сканирования и сборкой модели после нескольких шагов сканирования. В результате необходимо получить готовую 3D-модель
3. Изучение объектов сканирования (темные объекты, металлы)	В работе необходимо провести сканирование металлических, темных и полупрозрачных объектов. Научиться подбирать режимы сканирования для этих объектов. Необходимо получить готовые 3D-модели и сохранить их в форматах STL и OBJ [7]
4. Изучение объектов сканирования (кубические, круглые)	В ходе работы необходимо провести сканирование сложных по текстуре объектов, таких как круг, шар, куб. Понять, как нужно сканировать такие объекты, какие необходимо применить приемы для упрощения процесса сканирования. Получить готовые 3D-модели. Для разработки данной работы были найдены два предмета для сканирования: пластиковый куб, ранее напечатанный на 3D-принтере, и деревянный шар
5. Проведение сканирования с помощью функции «сканирование по трем точкам»	В ходе представленной работы необходимо провести более сложное сканирование. Некоторые объекты могут сканироваться не совсем корректно, для устранения всех дефектов нужно прибегнуть к функции «сканирование по трем точкам». Функция помогает сформировать 3D-модель правильно. Необходимо научиться пользоваться этой функцией и получить корректную 3D-модель. Далее нужно сохранить ее в форматах STL и OBJ
6. Постобработка готовых 3D-моделей в программе Netfabb basicv 5.2	В результате работы необходимо провести постобработку готовых 3D-моделей, которые были получены ранее. В работе нужно научиться пользоваться программой Netfabb basic (программа является бесплатной и лицензионной). Далее нужно получить готовую 3D-модель, которую в последующем можно будет напечатать на 3D-принтере

Вывод

Подводя итоги, стоит отметить, что представленные лабораторные работы помогут студентам получить необходимые компетенции в области 3D-сканирования, а также понять принцип работы 3D-сканера. Лабораторный практикум разрабатывался для внедрения в учебный процесс Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

Литература

1. Зачем и кому нужен 3D-сканер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vestnik.ru/useful/> (дата обращения: 07.06.2020).
2. 3D-сканирование, 3D-прототипирование различных трехмерных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.altstu.ru/structure/unit/cms/article/3d_objects/ (дата обращения: 08.06.2020).
3. Семиглазов В.А., Валова А.С., Ильина О.Д. Разработка компетентностной карты набора программ ДПО «Управление предприятием сервиса» // Электронные средства и системы управления: матер. докл. XIII Междунар. науч.-практ. конф., 29 ноября – 1 декабря 2017 г.: в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2017. – С. 112–114.
4. Иванова Е.В., Ильина О.Д., Тамарова А.О. Разработка учебно-тематического плана программы ДПО «3D-сканирование. Обработка изображения после сканирования» / Научная сессия ТУСУР–2018: матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 16–18 мая 2018 г.: в 5 ч. – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 1. – С. 132–134.
5. Андрийчук Л.Н., Семиглазов В.А. Применение 3D-технологий в школьной образовательной среде / Электронные средства и системы управления: матер. докл. XV Междунар. науч.-практ. конф., 20–22 ноября 2019 г.: в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2019. – С. 168–170.
6. 3D-сканирование. Применение технологий в бизнесе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kd3d.ru/> (дата обращения: 25.06.2020).
7. Как 3D-сканирование решает вопросы контроля качества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.iqb.ru/> (дата обращения: 25.06.2020).

Семиглазов Вадим Анатольевич

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: vadim.tusur@mail.ru

Серебрянников Сергей Владимирович

Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: sereog.seri@yandex.ru

УДК 621.397.01

А.С. Захлебин, А.Н. Калибеков, М.И. Курячий

Построение геопривязанного ортофотоплана участка местности по изображениям с телевизионной камеры БПЛА вертолетного типа

Рассматривается возможность построения геопривязанного ортофотоплана участка местности с сантиметровой точностью по изображениям, полученным с телевизионной камеры беспилотного летательного аппарата (БПЛА) вертолетного типа. Проведена оценка точности геопривязки полученного ортофотоплана местности.

Ключевые слова: ортофотоплан местности, БПЛА, изображение, фотограмметрическая обработка, GNSS-приемник, модель, плотное облако точек.

С развитием сверхлегких БПЛА и методов фотограмметрической обработки видеоряда стало возможным производить моделирование высокодетализированных цифровых моделей и ортофотопланов местности. Используя дополнительные инструменты, можно получить цифровые модели местности с высокоточными геопространственными данными. Такие данные позволяют производить измерения длины, площади и объема по моделям местности. Таким образом, становится возможным определение объема земляных работ, прогнозирование работы предприятий, осуществление мониторинга и т.д.

В рамках данной работы проводился эксперимент по созданию геопривязанного ортофотоплана участка местности, на котором расположены радиотехнический корпус Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) и прилегающая к нему территория. Данная территория пользуется в качестве полигона для испытаний активно-импульсных телевизионных измерительных систем, разрабатываемых на кафедре телевидения и управления ТУСУРа. Соответственно, основная цель эксперимента заключалась в создании цифровой модели полигона, и тем самым упрощении процесса испытаний образцов систем на местности.

Для проведения авиационных работ и получения аэрофотоснимков использовался БПЛА вертолетного типа DJI PHANTOM 4 PRO (рис. 1). Он имеет на своем борту телевизионную камеру Sony с дюймовой матрицей с разрешением 20 Мп, которая закреплена на трехосевом гиросtabilизирующем подвесе. Таким образом, реализуется возможность проводить авиационные работы по заранее спланированному маршруту, а также производить интервальную съемку в надири.



Рис. 1. БПЛА DJI Phantom 4 PRO

Для привязки в модели геопространственных данных на этапе фотограмметрической обработки необходимо использовать опознавательные знаки, координаты которых точно определены [1]. Несколько опознавательных знаков были равномерно расположены на местности. Их точные координаты получены при помощи высокоточного геодезического GNSS приемника EFT M2 (рис. 2).

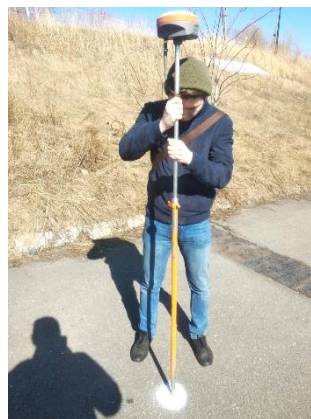


Рис. 2. Определение координат опознавательных знаков на местности

Перед выполнением авиационных работ было сформировано полетное задание для БПЛА в программе для планирования маршрутов DroneDeploy (рис. 3). Данное программное обеспечение дает возможность построить маршрут для площадной съемки путем выделения контура требуемого участка на космоснимке.



Рис. 3. Маршрут следования БПЛА

Приведены основные параметры полетного задания (табл. 1).

Таблица 1

Параметры полетного задания	
Параметр	Значение
Ориентация камеры	В надир
Высота полета БПЛА	80 м
Продольное перекрытие снимков	80%
Поперечное перекрытие снимков	75%
Скорость полета	6 м/с

В процессе выполнения полетного задания был получен видеоряд из 184 аэрофотоснимков.

Дальнейшая обработка полученных снимков осуществлялась в программном обеспечении для фотограмметрической обработки данных Agisoft Metashape [2].

GPS-оборудование БПЛА записывает координаты центров снимков в системе WGS 84, а координаты опознавательных знаков были получены в местной системе координат MSK70 зона 4. Поэтому, в первую очередь после импорта видеоряда в ПО координаты центров снимков были также переведены в систему MSK70, зона 4.

На следующем этапе осуществлялось выравнивание фотографий. ПО определяет положение камер и строит разреженное «облако точек» (рис. 4).

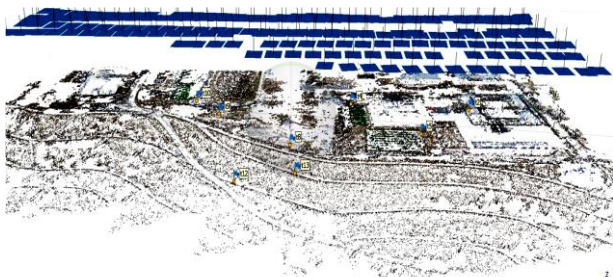


Рис. 4. Разреженное облако точек

На следующем этапе обработки производилась расстановка маркеров на фотографиях. Маркеры применяются для оптимизации результатов расчета положений камеры, что в свою очередь улучшает результат геопривязки конечной модели. После этого, основываясь на рассчитанных положениях камер, программа вычисляет карты глубины для каждой камеры, строит плотное «облако точек» и трехмерную модель местности (рис. 5).



Рис. 5. Цифровая модель местности

На одном из завершающих этапов ПО строит карту высот. Она представляет собой модель поверхности в виде регулярной сетки значений высоты (рис. 6).

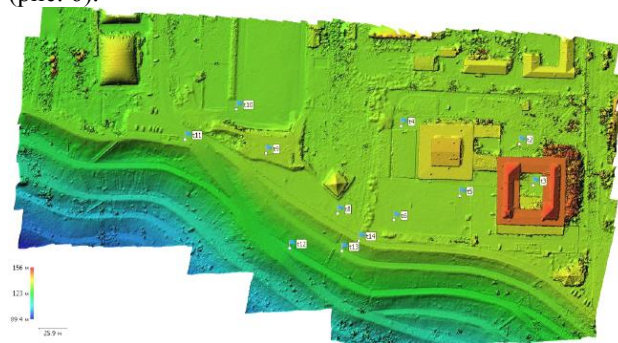


Рис. 6. Карта высот

Итоговым результатом фотограмметрической обработки аэрофотоснимков является ортофотоплан местности, который строится на основании исходных снимков, что позволяет создавать результирующие изображения высокого разрешения (рис. 7) [3].



Рис. 7. Ортофотоплан местности

Проведена оценка плановой точности геопривязки конечного ортофотоплана местности. Для этого использовались опознавательные знаки, которые не участвовали в фотограмметрической обработке и уравнивании координат модели. Сравнивались координаты опознавательных знаков, полученные с помощью геодезического ГНСС приемника, и координаты этих же знаков, полученные из построенного ортофотоплана местности. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результат оценки точности модели

Название опознавательного знака	СКО, см
T3	1,27
T6	2,11
T14	1,65

Выводы

1. Применение БПЛА вертолетного типа DJI PHANTOM 4 PRO допустимо при изготовлении ортофотопланов участков местности.

2. СКО по контрольным точкам не превышает 3 см, что говорит о высокой точности построенной

модели и делает возможным испытания активно-импульсных телевизионных измерительных систем по полученным результатам с целью определения точности их работы.

3. Результаты аэрофотосъемки применимы для построения топографических планов площадных объектов для различных практических применений.

Литература

1. Шумилов Ю.В. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в технологии точного земледелия / Ю.В. Шумилов, Р.Ю. Данилов, И.А. Костенко, А.В. Данилова, К.В. Семочкин, А.А. Пачкин // Молодой ученый. – 2015. – № 9.2. – С. 100–147.

2. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geoscan.aero/ru/software/photoscan#tab-user-manuals>, свободный (дата обращения: 03.10.2018).

3. Захлебин А.С. Построение ортофотоплана местности с использованием БПЛА вертолетного типа DJI PHANTOM 4 // Электронные средства и системы управления: матер. XIV науч.-практ. конф., 2018. – С. 159–161.

Захлебин Александр Сергеевич

Аспирант каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: 8-923-433-46-06
Эл. почта: aerosnimok@gmail.com

Калибеков Артур

Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: 8-999-495-64-43

Курячий Михаил Иванович

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: 8-913-829-90-14
Эл. почта: kur@tu.tusur.ru

Секция 18

РОБОТОТЕХНИКА И МЕХАТРОНИКА

*Председатель секции – Шурыгин Юрий Алексеевич, первый проректор,
зав. каф. КСУП, д-р техн. наук, профессор*

УДК 629.127

И.И. Булуев

Разработка системы видеонаблюдения для подводного робота «Odyssey»

Проведен анализ тенденций проведения поисковых и эксплуатационных работ в подводной среде. Для ранее созданного прототипа подводного робота с манипулятором «Odyssey» разработана базовая версия системы видеонаблюдения как часть системы технического зрения. Проведено тестирование работы гироскопа, сделан вывод о необходимости произведения фильтрации и выравнивания по фронту сигнала.

Ключевые слова: манипулятор, система управления, подводный аппарат, автоматизация, техническое зрение.

В настоящее время для освоения Мирового океана активно используются подводные робототехнические системы, оснащенные манипуляторами. Наблюдается устойчивая тенденция к расширению областей их применения за счет выполнения ими новых видов работ. Качественное выполнение манипуляций в подводном пространстве требует создания принципиально новых систем управления не только подводными аппаратами, но и манипуляторами как их составными частями. Таким образом, возникает целый класс задач разработки систем управления манипуляторами – как универсальных, так и узко ориентированных. При этом задачами для таких манипуляторов могут быть не только фиксация и транспортировка грузов, но и проведение ремонтных работ, таких как сварка подводных трубопроводов, перекрытие задвижек, случаи отказа оборудования и т.п. По международным правилам инспекция таких подводных трубопроводных объектов необходима с минимальной периодичностью не менее одного раза в шесть месяцев. В данной работе необходимо учитывать сложные условия выполнения любых операций, обусловленные прежде всего мощными подводными течениями на морском дне, вымывающими грунт. Благодаря этим явлениям трубы имеют тенденцию к провисанию, подвергаются попеременно давлению столба жидкости [1].

Мировой опыт применения подводной техники доказывает, что без неё невозможно представить развитие нефте- и газодобывающей отрасли в шельфовой зоне, проведения обследования местности, спасательных и поисковых операций, гидрографических и биологических исследований. Согласно расчетам компании Shell, использование подводных аппаратов для бурения скважин, прокладки маршрутов трубопроводов, сборки океанографических данных, проб с участков местности позволяет сэкономить до 772 млн дол. ежегодно [2].

Проблемная ситуация и целеполагание

Традиционные системы видеонаблюдения объединяют видеокамеры, формирующие изображение среды, устройства видеозахвата для представления их в цифровом виде и вычислительную среду, в которой реализуются алгоритмы обработки изображений. При организации поиска объектов, слежения за ними, маневрирования возле подвижных или неподвижных объектов, обхода препятствий система видеонаблюдения должна обеспечить решение таких задач, как классификация объекта, непрерывное слежение за ним и определение его координат относительно положения робота.

Традиционные методы управления не всегда эффективны в условиях неполной или недостоверной информации о внешней среде, при неисправности части систем или необходимости целенаправленной реконфигурации. Архитектуры и принципы интеллектуального управления динамическими системами активно развиваются, однако для подводной среды в силу специфики работы сенсоров и систем связи они усложняются уже на стадии разработки. Весьма актуальна задача повышения потенциала управления ими на основе разработки методов динамического анализа, распознавания образов, адаптации и искусственного интеллекта.

В предыдущей работе автор описывал имеющийся задел – создание прототипа подводного робота, решалась задача его точного позиционирования под водой [3]. Целью настоящей работы является разработка прототипа системы видеонаблюдения как части системы технического зрения, работающей в режиме реального времени.

Архитектура системы видеонаблюдения

В качестве основного источника информации в системах видеонаблюдения используется камера, находящаяся в герметичном прозрачном корпусе. При этом ее обработка происходит либо 1) *на борту*

подводного аппарата, либо 2) *на суше*, после процедуры передачи данных.

В первом случае на систему накладываются ограничения по вычислительной мощности, что снижает потенциал сложности операций обработки данных. Как правило, в подводного робота закладывается тип архитектуры, подразумевающий существенные вычислительные мощности при отсутствии возможности беспрепятственной передачи данных на сушу.

Второй метод используют при создании телеуправляемых подводных роботов, т.к. данные можно быстро передать оператору. В этом случае мощность системы обработки данных технически не ограничена. Однако акватория работы подводного робота полностью зависит от длины кабеля, по которому он получает управляющие сигналы и передает полученные данные.

Основными направлениями, на которые стоит обратить внимание при разработке системы видео-

наблюдения, являются наличие программных фильтров для устранения помех (мутная вода, блики и т.д.), а также наличие поворотной платформы для увеличения угла обзора камеры. Для снижения нагрузки на оператора нужно разработать не только интеллектуальную систему видеонаблюдения, но и адаптировать ее для решения поставленных задач. Для этого в разрабатываемой системе будет использован специальный шлем, в состав которого входят датчики определения положения, мониторы на уровне глаз оператора для визуализации информации. Подобным решением возможно добиться эффекта присутствия на борту подводного аппарата, что повышает удобство управления.

Разработка функциональной схемы следящей системы видеонаблюдения

Функциональная схема представлена на рис. 1.

В качестве управляющего сигнала выступают показания датчиков – сигналы, поступающие при повороте головы оператора.



Рис. 1. Функциональная схема следящей системы видеонаблюдения

Гироскоп определяет положение шлема в пространстве в реальном времени относительно установки, сигнал которой формируется в начальный момент времени. Полученные значения передаются на управляющий микроконтроллер через операторский пульт управления. После этого происходит сравнение текущих значений положения камеры и значений положения шлема оператора. При их расхождении контроллер формирует управляющий сигнал на электродвигатели (ЭД 1 и ЭД 2), расположенные на подвижной платформе и отвечающие за положение камеры. Далее происходит формирование импульсного сигнала, который является управляющим для двигателя. В свою очередь, датчики, входящие в состав электродвигателей, фиксируют текущее положение вала и передают сформированный сигнал обратно на микроконтроллер.

Алгоритм работы управляющего микроконтроллера представлен на рис. 2.

Алгоритмы работы основного контроллера, в состав которого входят управляющие микроконтроллеры, представлен на рис. 3, а на рис. 4 представлены алгоритмы работы функций, входящих в основной алгоритм.

Описание алгоритма работы системы

На контроллере происходит инициализация переменных, после чего инициализируются порты ввода-вывода. Для обращения к регистрам датчика определим переменные CTRL_REG1...CTRL_REG5.



Рис. 2. Алгоритм микроконтроллера

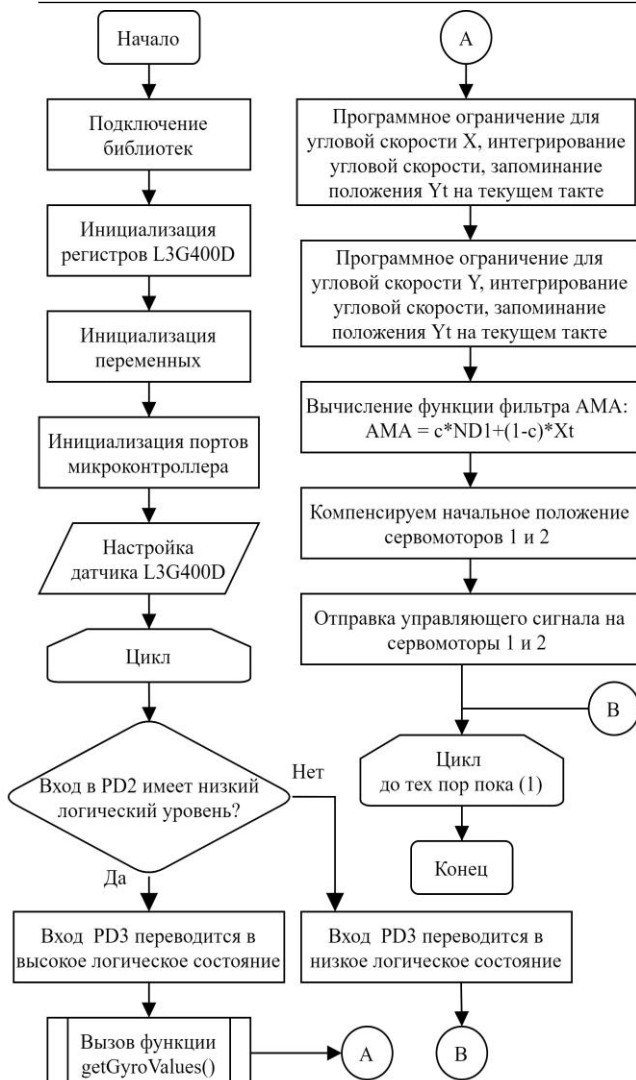


Рис. 3. Алгоритм контроллера системы видеонаблюдения

Переменные X и Y необходимы для хранения информации о значении угловой скорости по осям с одноименным названием в текущий момент времени. В переменных Xt , Yt передаются значения углов по соответствующим осям каждый такт работы программы, после чего они сохраняются в переменных Xp , Yp для использования на следующем такте.

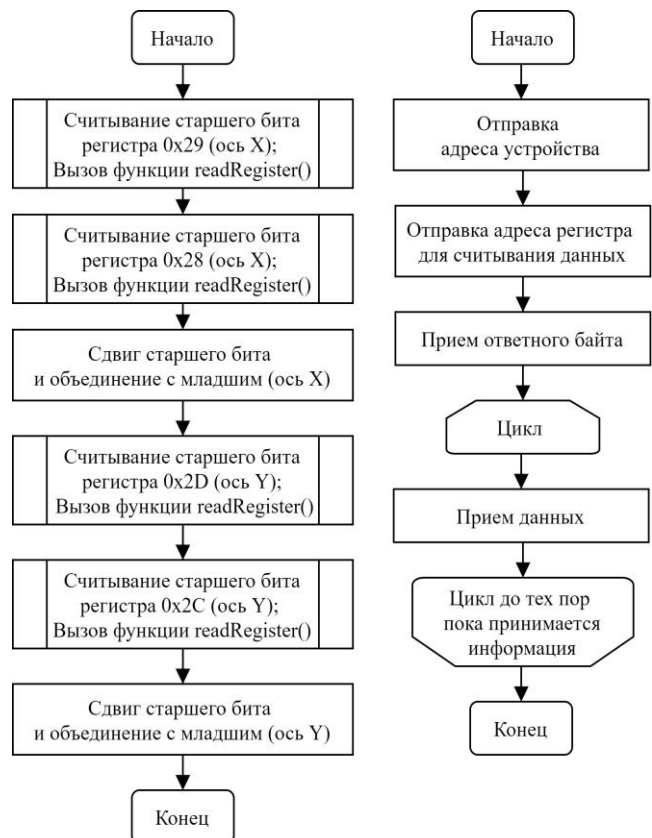
После инициализации переменных и регистров вызывается функция настройки датчика `setupL3G400D`. Следующий этап – основное тело программы (функция `void loop`). Поскольку необходимо в режиме эксперимента проводить подстройку датчика, то мы проверяем нажатие кнопки, отвечающей за данную функцию. Функция `getGyroValues()`, используемая в дальнейшем цикле отвечает за считывание показаний с датчика, после чего происходит интегрирование угловой скорости по осям X и Y и сравнение этих значений с показаниями на предыдущем такте (на каждом $i-1$ такте значения обнуляются). Также на каждом такте к экспериментальным данным прибавляется компенсирующий коэффициент, препятствующий дрейфу начальной точки. Сразу после этого подключается расчет при помощи алгоритма обработки информации – фильтр Кауф-

мана, и только после этого контроллер формирует ШИМ-сигнал для управления сервоприводами.

Компоненты системы видеонаблюдения

Датчик определения положения

В качестве датчика положения используется гироскоп L3G4200D как доступный по цене и имеющий высокие показатели точности. Сама микросхема L3G4200D компании представляет собой сверхстабильный датчик перемещений в 3D-пространстве, изготовленный по MEMS-технологии.

Рис. 4. Алгоритм функций `getGyroValues()`, `readRegister()`

Микроконтроллер

Функцией микроконтроллера являются прием показаний с датчика и, согласно заданному алгоритму, их обработка, вывод необходимых данных на интерфейс оператора и управление сервоприводами для изменения положения камеры. Таким образом, основной критерий при выборе микроконтроллера – быстродействие, достаточный объем памяти, энергоэффективность и пр.

Поскольку для передачи данных на ПК, принимаемых с датчика, используется плата Arduino с микроконтроллером AVR фирмы Atmel – ATmega328P, остановимся на данном контроллере.

Электроприводы управления камерой

В качестве электродвигателей выбраны шаговые электродвигатели или сервоприводы. Такие двигатели управляются при помощи сигналов отрицательной обратной связи и уставки, позволяя фиксировать вал в статичном положении. Во избежание проскальзывания вала ротора рекомендуется использовать сервоприводы. Таким образом, целесо-

образно использовать сервопривод с обратной связью по положению, структура которого представлена на рис. 5.

Как видно из рис. 5, сервопривод представляет собой двигатель постоянного тока с редуктором, датчиком обратной связи и платой управления. Поскольку для поворота камеры требуется минимальное усилие, достаточно использовать сервопривод со слабым усилием и небольшими габаритами: в качестве горизонтального привода MG996R и в качестве вертикального SG90.

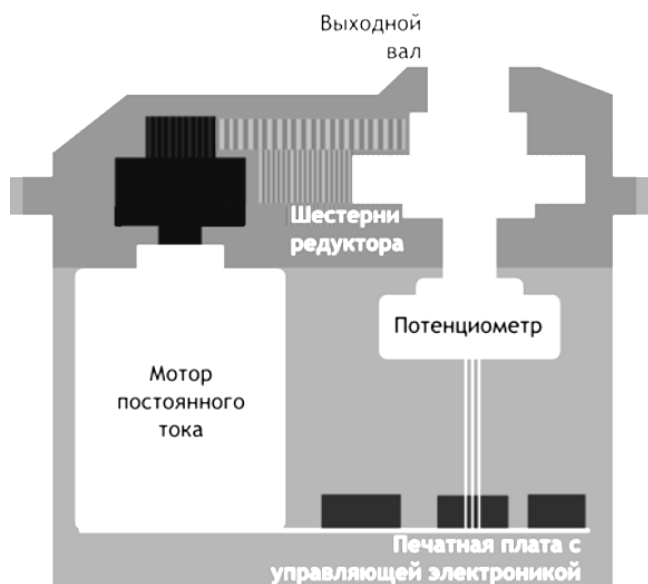


Рис. 5. Схематичное изображение сервопривода с обратной связью по положению

Передача данных от датчика к контроллеру

В качестве протокола передачи используется I2C, так как он обеспечивает их бесперебойную передачу на большие расстояния по сравнению с SPI (организация связи между контроллером и гироскопом). Обработка информации производится контроллером ATmega, для которого создано программное обеспечение, описать которое можно следующим образом: считывание данных гироскопа с частотой дискретизации раз в 50 мс по оси X.

Результат тестирования системы

Базовое тестирование процедуры считывания показаний датчиком показали: выходной сигнал содержит большой разброс по дифференциальной (шумовой) составляющей (рис. 6).

Более того, особенностью датчика является дрейф начальной точки – явление, когда без изменения положения датчика происходит изменение его величины на постоянную рассчитываемую величину. Пример подобной работы можно наблюдать на рис. 7.

Внеся программные доработки в код работы контроллера и произведя фильтрацию шума за счет использования фильтра скользящей средней, получим сигнал выхода, представленный на рис. 8. В представленном эксперименте поворот датчика производился на $98 \pm 2^\circ$.

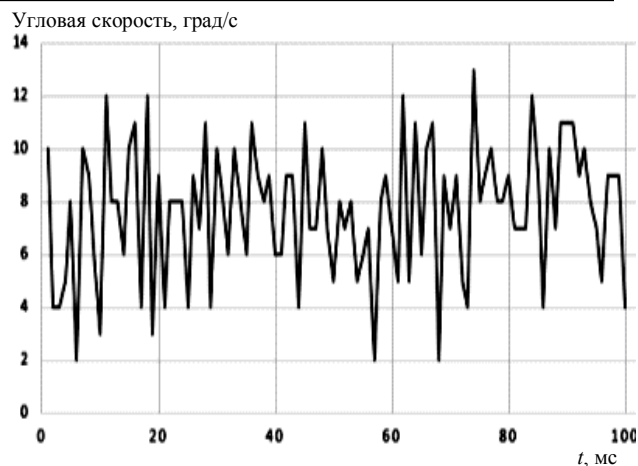


Рис. 6. Выходной сигнал гироскопа

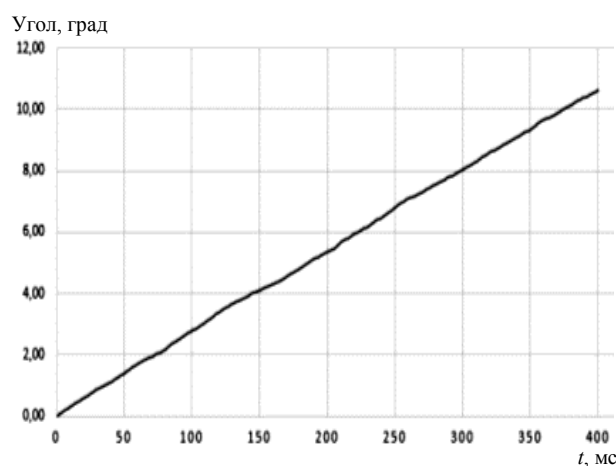


Рис. 7. Дрейф гироскопа по показателю «угловое положение»

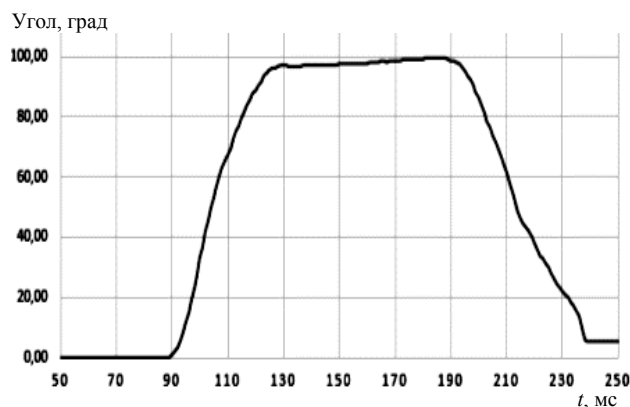


Рис. 8. График выходного сигнала гироскопа

На текущем этапе видно: для системы с большей точностью позиционирования нужно произвести фильтрацию и выравнивание по фронту сигнала.

Литература

1. Никищенков О. Перспективы дальневосточной подводной робототехники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный. – URL: sk.ru/news/b/articles/archive/2015/04/10/perspektivy-dalnevostochnoy-podvodnoy-robototekhniki.aspx. – Skoltech, 04.2015 (дата обращения: 20.08.2020).

2. Кумминс Я., Бизант Д. Shell шокирует мир [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный. – URL: dolit.net/author/8583/ebook/31390/kummins_yan/Shell_shokiruet_mir/read/13 (дата обращения: 08.09.2020).

3. Федоров Е.А, Булуев И.И. Разработка подводного робота «Odyssey» // Молодежь и современные информационные технологии: сб. трудов XIV Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск: в 2 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 1. – С. 278–279.

Булуев Илья Иванович

Аспирант отд. автоматизации и робототехники
Инженерной школы информационных технологий
и робототехники Томского политехнического ун-та,
гл. эксперт систем усовершенствованного управления
технологическим процессом, Томскнефтехим
Тел.: +7-952-891-50-65
Эл. почта: buluev.ilia@gmail.com

УДК 621.865

Р.В. Саблин, М.Д. Жумабек, В.П. Коцубинский

Роботизированная платформа, оснащенная механическим манипулятором и техническим зрением

Робототехника – сфера деятельности, связанная с разработкой и эксплуатацией автоматизированных технических систем – роботов. Сегодня человечество все сильнее начинает зависеть от робототехники. Роботы в самых различных вариациях стали наполнять все сферы деятельности человека. Целые отрасли промышленности немислимы без робототехники. Роботы стали неотъемлемой частью современного мира.

Ключевые слова: машинное зрение, механический манипулятор, роботизированная платформа, объект, интерфейс.

Общее описание роботизированной платформы

Роботизированная платформа представляет собой жесткую металлическую платформу, оснащенную шестью моторами постоянного тока. Основой данной роботизированной платформы является установленный на неё микроконтроллер Arduino Mega 2560. Управление непосредственно колесной базой происходит с помощью драйвера двигателей Motor Shield L293D.

Также робот оснащен системой технического зрения Pixy CMUcam5, позволяющей отслеживать заданные объекты и передвигаться роботизированной платформе в пространстве относительно этих объектов.

Помимо перечисленного, на платформе также имеется пятиосевая механическая рука-манипулятор, способная к захвату и перемещению небольших объектов. Элементы руки-манипулятора приводятся в движение пятью сервоприводами, установленными на ней. В совокупности с техническим зрением робот способен самостоятельно находить и поднимать манипулятором необходимые объекты.

Техническое зрение

Человек по визуальному каналу получает более 60% всей информации, регулирующей его взаимодействие с внешней средой. Это же справедливо и для искусственных сенсорных систем: те из них, которые используют визуальную информацию, обладают наибольшей информативностью. Особое место занимают системы технического зрения, относящиеся к группе бесконтактных пассивных информационных средств. Системы технического зрения (СТЗ) – это специальное сенсорное устройство, позволяющее получать качественные изображения с их последующей обработкой и преобразованием.

Среди СТЗ следует отметить TrackingCam, производящийся в России. Он имеет матрицу Omni Vision 7725 с разрешением 640×480 пикселей, кадровую частоту до 30 fps, процессор STM32f407 – ARM Cortex M4 168 МГц, ОЗУ 168 Кбайт, флеш-память 512 Кбайт, напряжение питания 5–12 В, поддерживает интерфейсы I2C, UART, SPI, Dynamixel, USB.

Другим методом реализации машинного зрения является плата Pixy CMUcam5. Данная плата состоит

из цифровой камеры и собственного процессора, отвечающего за обработку и анализ видеоизображения. Встроенные алгоритмы камеры способны обнаруживать и отслеживать сотни объектов одновременно.

Технические характеристики модуля приведены в таблице.

Технические характеристики Pixy CMUcam5

Процессор	NXP LPC4330, 204 MHz, dual core
Оптическая матрица	Omnivision OV9715, 1/4", 1280×800
Поле зрения линзы	75° по горизонтали, 47° по вертикали
Тип линзы	standard M12
Энергопотребление	140 мА
Питание	USB (5 В), 6–10 В
Оперативная память	264 кБ
Флэш-память	1 мБ
Интерфейсы	UART serial, SPI, I2C, USB, digital, analog
Габариты	2,1×2,0×1,4 дюйм (5,3×5,08×3,55 см)
Вес	27 г

В отличие от стандартного последовательного порта (англ. standard serial port), SPI является синхронным интерфейсом, в котором любая передача синхронизирована с общим тактовым сигналом, генерируемым ведущим устройством (процессором). Принимающая периферия синхронизирует получение битовой последовательности с тактовым сигналом. К одному последовательному периферийному интерфейсу ведущего устройства-микросхемы может присоединяться несколько микросхем. Ведущее устройство выбирает ведомое для передачи, активируя сигнал «выбор кристалла» (англ. chip select) на ведомой микросхеме. В SPI используются четыре цифровых сигнала.

В проекте по управлению роботом-манипулятором используется принцип машинного зрения, основанный на обработке аналогового сигнала, поступающего с камеры. Из-за высоких требований к размеру и скорости считывания изображения был реализован следующий подход: черно-белое изображение снимается цифровым входом, сигнал на который подается с выхода компаратора. Программное обеспечение позволяет представить данные, полученные путем обработки видеосигнала в текстовом виде, используя

«пробел» для обозначения светлых фрагментов изображения и «#» для темных. Полученные данные обрабатывались и использовались для управления роботом, основной функцией которого являлось следование за объектом.

Управление роботизированной платформой

Благодаря оснащённости платформы системой СТЗ она способна на выполнение некоторых задач в автономном режиме без привлечения оператора. Но все же при выполнении некоторых сценариев участие человека иногда остается необходимым. Из-за этого для роботизированной платформы была реализована система удаленного управления.

Система управления основана на простой клиент-серверной части проекта. Для установления соединения между оператором и роботом платформа была оснащена Bluetooth-модулем.

Данный модуль был добавлен к конструкции робота с механическим манипулятором в самом начале проекта. Его появление решило проблему отладки платформы – появилась возможность тестирования нового функционала в реальном времени, стала возможной удаленная загрузка прошивки на платформу без подключения по кабелю.

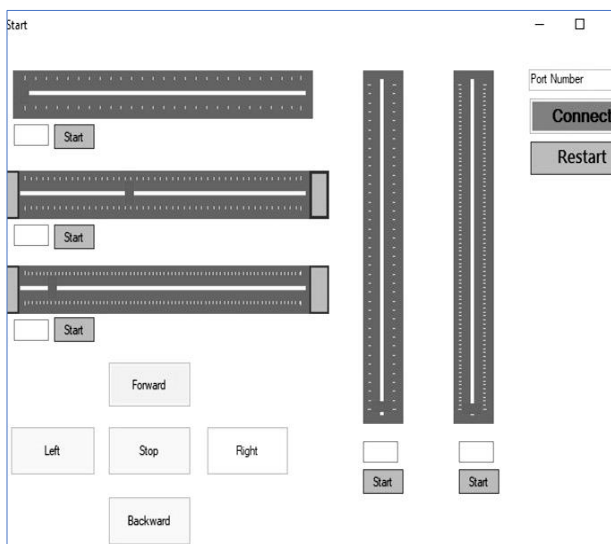


Рис. 1. Пользовательский интерфейс

При первой попытке сопряжения с роботизированной платформой оператор проходит процедуру аутентификации. Последующие подключения аутентификации не требуют – приложение будет подключаться к роботу автоматически, предупреждая об этом пользователя.

После установления соединения плата Arduino произведёт сброс выполнения своей программы к началу инициализации периферии. После выполнения блока инициализации и перехода в цикл основной программы платформа будет готова принимать команды пользователя.

Пользовательский интерфейс представлен на рис. 1.

Разработанная система управления позволяет в полной мере использовать всю функциональность робототехнической платформы. Оператор может перемещать робота в пространстве, используя привычные клавиши на клавиатуре – блок управления курсором; полноценно управлять рукой-манипулятором, передвигая и захватывая объекты. В нужный момент оператор может перевести роботизированную платформу в автономный режим, в котором робот будет выполнять определенный сценарий.

Литература

1. Техническая информация о плате Arduino Mega 2560 [Электронный ресурс]. – URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardMega2560> (дата обращения: 04.09.2020).
2. Техническая информация о платах расширения для Arduino [Электронный ресурс]. – URL: <https://arduino-master.ru> (дата обращения: 05.09.2020).
3. Шестеров И.А. Робототехническая платформа с механическим манипулятором на базе Arduino MEGA 2560 // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУР, Томск, 16–18 мая 2018 г.: в 3 ч. – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 1. – С. 141–145.

Саблин Роман Витальевич

Студент факультета вычислительных систем (ФВС) каф. компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-952-806-39-36
Эл. почта: gv3791908@gmail.com

Жумабек Мухамед Даулетулы

Студент ФВС каф. КСУП ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-900-922-31-80
Эл. почта: mukhamedzh@gmail.com

Коцубинский Владислав Петрович

Канд. техн. наук, доцент каф. КСУП ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: kvp@tusur.ru

УДК 621.865

А.А. Изюмов, Н.Ю. Хабибулина, Ю.А. Шурыгин

Управление движением колесного мобильного робота с манипулятором по криволинейной траектории в условиях наличия препятствий

Автономные мобильные роботы всё чаще внедряются в промышленность, в научно-исследовательские проекты и во многие другие области. Основной проблемой в создании мобильных роботов является реализация системы автоматического управления движением робота, основываясь на информации с датчиков.

Рассматриваемое решение может применяться для управления различными типами мобильных роботов. Разработанный программный комплекс позволяет моделировать поведение роботизированных систем в различных условиях.

Ключевые слова: мобильные роботы, меканум-колеса, динамическое планирование движения, инверсная кинематика, бикватернионы.

За последние 10 лет интерес к решению проблемы автоматического движения роботами, основанной на поступающих из внешнего мира сигналах, не ослабевает, и каждый раз ученые всего мира предлагают все более новые и изысканные методы. Однако при наличии достаточно большого числа разработок в данной сфере проблема создания оптимальной и сбалансированной конструкции до сих пор актуальна. Это связано с тем, что модели подобных объектов оказываются излишне идеализированными, и инженерам приходится идти на большое количество допущений в процессе физической реализации мобильных роботов.

Синтез управления движением мобильного робота на меканум-колесах и мобильного робота, основанного на методе бортового поворота, в процессе моделирования системы управления роботом-манипулятором позволяет решить следующие прикладные задачи:

- 1) изучение меканум-робота;
- 2) исследование алгоритмов прогнозирования траектории движения робота;
- 3) изучение и реализация одного из существующих экспериментов по синтезу управления, анализ проведенного эксперимента и постановка собственного эксперимента;
- 4) симуляция движения меканум-робота;
- 5) формирование математической модели для робота с бортовым поворотом;
- 6) симуляция модели робота с бортовым поворотом;
- 7) реализация алгоритмов управления роботом-манипулятором.

Результаты аппроксимации

В данной работе рассматривается теоретико-механическая модель многоколесного мобильного робота на меканум-колесах. Меканум-колесо – ролик-конусное колесо, позволяющее роботу двигаться в любом направлении, а также совмещать линейное и вращательное движения.

Использование меканум-колес в данном случае обусловлено тем, что данные колеса позволяют дви-

гаться в любом направлении по плоской или неровной поверхности. Следовательно, не требуется использовать сложные рулевые механизмы, что, в свою очередь, может упростить синтез управления движением робота.

Математическая модель робота представлена в следующем виде:

$$\begin{cases} v_x(t) = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) \cdot (r/4), \\ v_y(t) = (-\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - \omega_4) \cdot (r/4), \\ \omega_z(t) = (-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) \cdot [r/4(l_x + l_y)], \end{cases}$$

где $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ – соответствующие угловые скорости движения колес; r – радиус колес; l_x, l_y – удаленность колес от центра робота по x - и y -компоненте; v_x, v_y – значения линейной скорости по x - и y -компоненте; ω_z – угловая скорость робота.

Современные мобильные роботы способны выполнять не только команды, поступающие от оператора, но и самостоятельно планировать траекторию достижения конечного пункта назначения, обходя препятствия. Для решения задачи прогнозирования траектории предположим, что известны точки, через которые должен проехать робот. На основе данного предположения будем прогнозировать траекторию движения робота, используя методы аппроксимации данных. Пусть даны следующие точки траектории: (0,0), (1,2), (3,1), (5,5). Результаты прогнозирования каждого из вышеперечисленных методов можно видеть на рис. 1.

Интерпретируя полученные различными методами результаты прогнозирования траектории движения, можно сделать вывод: универсального оптимального варианта для решения задачи планирования траектории в любых условиях не существует, поэтому для каждой поставленной задачи следует выбирать свой наиболее оптимальный в заданных условиях метод.

Описание математической модели

Термин «динамическое планирование» чаще всего используют в робототехнике для декомпозиции задачи сложного движения робота на несколько

задач простого движения, которые удовлетворяют ограничениям движения и по возможности оптимизируют некоторые аспекты движения.

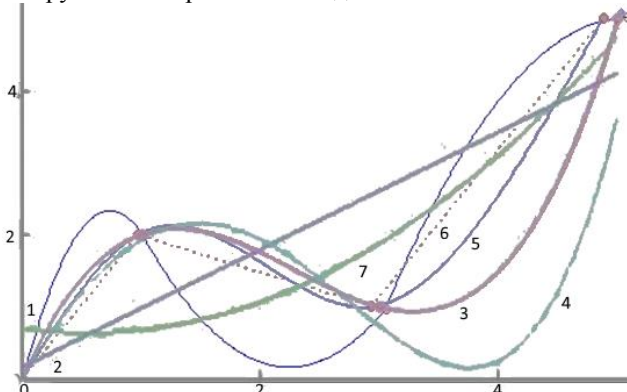


Рис. 1. Результаты аппроксимации: 1 – параболический сплайн; 2, 7 – аппроксимация алгебраическими полиномами; 3 – интерполяция многочленом Лагранжа; 4 – аппроксимация ортогональным полиномом Чебышева; 5 – кубический сплайн; 6 – линейный сплайн

Алгоритм RRT входит в класс методов, основанных на выборке, является одним из самых быстрых и эффективных при поиске пути, огибающего препятствия. Хотя данный метод и обеспечивает полноту решений, но невозможно гарантировать, что найденный путь будет самым оптимальным. Для решения этой проблемы предложено множество вариаций данного алгоритма, одним из которых является RRT* [1].

Для решения задачи достижения заданной точки требуется выбрать метод навигации мобильного робота. Чаще всего используют два основных подхода [2]:

- 1) локальный;
- 2) глобальный.

Локальный подход к навигации мобильного робота, представляется более предпочтительным, так как рассчитан на построении траектории робота в заранее неизвестном пространстве или в пространстве с динамически меняющимся окружением.

Математическая модель, описывающая робота, построена на основе метода тангенциального избегания

$$\begin{cases} \dot{\rho} = -v \cos \alpha \\ \dot{\alpha} = -\omega + v(\sin \alpha / \rho), \\ \dot{\theta} = v(\sin \alpha / \rho), \end{cases}$$

где ρ – дистанция до цели; v – линейная скорость робота; ω – угловая скорость робота; θ – угол между осью O_x и направлением на цель; α – курсовой угол, разность между курсом робота и углом θ .

Результаты моделирования траектории движения согласуются с результатами эксперимента, подробно описанными в [3]. В данном случае используется модель робота с 4 меканум-колесами и при прогнозировании траектории используется кубический сплайн третьей степени. Результаты моделирования приведены на рис. 2.

Программное управление движением робота

Выше было проведено моделирование движения робота по заданным координатам и при отсут-

ствии препятствий. Для решения задачи моделирования движения робота по заданным координатам в условиях наличия препятствий был создан программный продукт, который позволяет симулировать поведение робота в закрытом пространстве с возможностью появления препятствий в процессе движения робота.

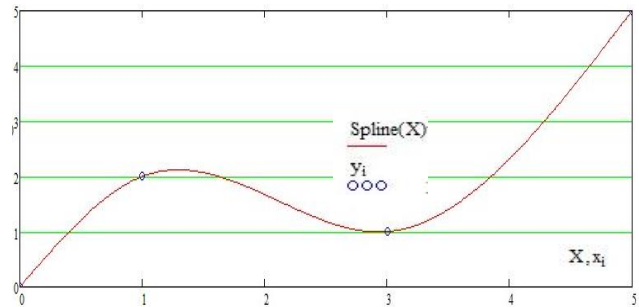


Рис. 2. Траектория движения робота

Для решения задачи самостоятельного движения робота к целевой точке в некотором ограниченном пространстве с вероятностным наличием препятствий было принято решение разделить её на три более узконаправленные задачи [4].

1. Движения робота к целевой точке при отсутствии препятствий. При этом были поставлены следующие условия:

- известны размеры поля;
- известно место начала движения;
- по краям поле огорожено стенами;
- считаем, что обнаруженный объект, имеющий цвет, является целевой точкой;
- известны угол обзора дальномера и его дальность, которые можно менять.

2) Движения робота к целевой точке при наличии статических препятствий со следующими условиями:

- известны размеры поля;
- известно место начала движения;
- по краям поле огорожено стенами;
- поле имеет статичные препятствия;
- обнаруженный объект, имеющий цвет, принимается в качестве целевой точки;
- известны угол обзора дальномера и его дальность, которые можно менять.

3) Движения робота к целевой точке при динамически добавляющихся препятствиях со следующими допущениями:

- известны размеры поля;
- известно место начала движения;
- поле огорожено стенами;
- на поле могут находиться как уже созданные препятствия, так и динамически добавляющиеся препятствия на пути следования робота к целевой точке;
- обнаруженный объект, имеющий цвет, является целевой точкой;
- известны угол обзора дальномера и его дальность, которые можно менять.

Результаты приведенной на рис. 3 симуляции свидетельствуют о том, что алгоритмы построения дерева, поиска кратчайшего пути, следования по найденному пути работают корректно [5]. При этом, как можно заметить, найденный путь является неоптимальным и в процессе расчета траектории движения робота не происходит поправок на формат-фактор самого робота. Данные проблемы являются задачами для дальнейшего рассмотрения [6].

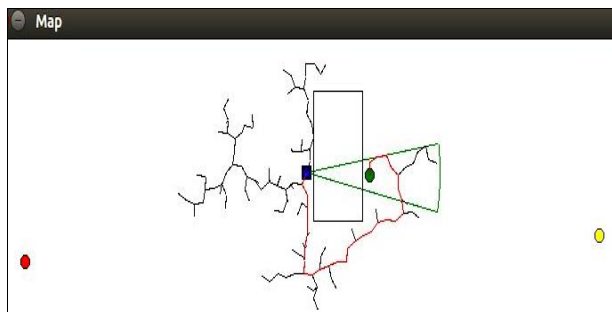


Рис. 3. Этап построения маршрута из дерева для обхода препятствия

Для корректной работы робота требуется, чтобы математическая модель двигателя, управляющего угловой скоростью колес, обеспечивала достижение и поддержание некоего заданного состояния. Данная концепция математической модели относится к следящим системам управления. Результаты моделирования представлены на рис. 4, 5. На графиках: 1 – напряжение на двигателе; 2 – сила тока; 3 – угловая скорость ротора в рад/с.



Рис. 4. Сила тока = 0 А; угловая скорость ротора = 60 рад/с; напряжение = 12 В

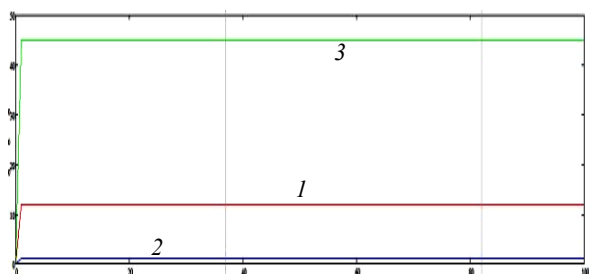


Рис. 5. Сила тока = 1,2 А; угловая скорость ротора = 45 рад/с; напряжение = 12 В

Основной задачей робота-манипулятора чаще всего является перемещение и/или сбор каких-либо объектов в своей области действия. Для решения данной задачи требуется рассчитывать положение каждого сочленения.

В конструкции разработанного программного продукта в качестве элемента, хранящего информацию о положении и ориентации одного сочленения робота, воспользуемся бикватернионами, или «дуальными кватернионами». В качестве алгоритма построения конечной позиции робота-манипулятора будем использовать метод триангуляции.

Для моделирования использован манипулятор, состоящий из трех сочленений. Каждое сочленение задается координатами «корня» и его длиной. Цель моделирования – поворот эффектора манипулятора к требуемой точке или объекту. На рис. 6 приведен внешний вид одного из этапов поворота, при этом каждый сегмент отмечен своим цветом.

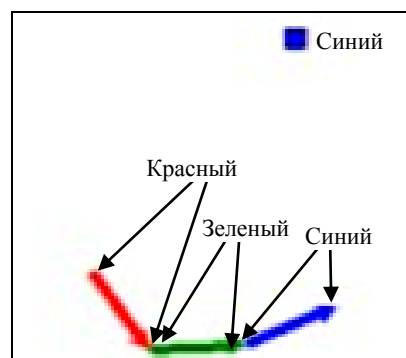


Рис. 6. Один из этапов моделирования изгибания манипулятора

В разработанном программном приложении, симулирующем движение механум-робота, реализовано управление роботом с помощью метода бортового поворота в замкнутом помещении с возможностью динамического добавления препятствий.

Литература

1. Jauwairia Nasir, Fahad Islam, Usman Malik, Yasar Ayaz, Osman Hasan, Mushtaq Khan, Mannan Saeed Muhammad. RRT*-SMART: A Rapid Convergence Implementation of RRT // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2013. – Vol. 10. – 299 p.
2. Steven M. LaValle, Planning algorithms. Cambridge University Press. – 512 p.
3. Колесниченко Е.Ю., Павловский В.Е. Явный синтез управления движением колесного механум-робота по криволинейной траектории // Экстремальная робототехника: труды междунар. науч.-техн. конф. – СПб.: ООО «АП4Принт», 2016. – 480 с.
4. Винник А.Е., Хабибулина Н.Ю. Моделирование процесса движения мобильного робота // Электронные средства и системы управления: матер. докладов XIV Междунар. науч.-практ. конф., 28–30 ноября 2018 г.: в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2018. – С. 251–254.
5. Винник А.Е. Моделирование процесса движения механум-робота на основе построения собственных карт // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУР, Томск, 16–18 мая 2018 г.: в 3 ч. – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 1. – С. 150–153.
6. Винник А.Е., Хабибулина Н.Ю. Моделирование процесса движения механум-робота с учетом препятствий // Современные технологии в науке и образовании (СТНО-

2018): сб. трудов междунар. науч.-техн. форума: в 11 т. / под общ. ред. О.В. Миловзорова. – 2018. – С. 142–147.

Изымов Антон Алексеевич

Ст. преп. каф. компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: anton.izyumov@gmail.com

Хабибулина Надежда Юрьевна

Канд. техн. наук, доцент каф. КСУП ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: hnu@mail.ru

Шурыгин Юрий Алексеевич

Д-р техн. наук, профессор, директор департамента управления и стратегического развития ТУСУРа
Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Эл. почта: office@tusur.ru

Секция 19

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ВЕБ-СИСТЕМ
И МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Председатель секции – *Зариковская Наталья Вячеславовна*, доцент каф. АОИ,
канд. физ.-мат. наук

УДК 65.011.42: 378.14

Я.И. Фокина, М.А. Гордиенко, С.С. Харченко

Концепт автоматизированной системы контроля посещаемости

Целью работы является концепт системы контроля посещаемости (СКП), который может быть использован в общественных и социально-культурных мероприятиях для мониторинга присутствующих; описаны структура автоматизированного концепта СКП, сценарий взаимодействия мобильного приложения, сервера и web-приложения для пользователей; представлена структурная схема взаимодействия сущностей с сервером, структура базы данных. Концепт разработан в рамках проекта ГПО КИБЭВС-1911 ТУСУРа «Обеспечение безопасности мобильного приложения».

Ключевые слова: концепт, автоматизация, система контроля посещаемости (СКП), мобильное приложение, web-приложение, сервер.

Контроль посещаемости – один из важных факторов оценки актуальности события, который всегда был одной из первоочередных задач проведения мероприятий. Высокая посещаемость события способствует решению ряда организационных задач и создает качественный план проведения социально-культурных и обучающих мероприятий. Однако проверка посещаемости занимает много времени, тратит огромный человеческий ресурс, а также не всегда имеет достоверную информацию посещения. Одним из оптимальных способов решения данных проблем является процесс автоматизации контроля посещаемости участников мероприятия [1].

В рамках работы группового проектного обучения «Обеспечение безопасности мобильного приложения» был разработан концепт автоматизированной системы контроля посещаемости, который включает в себя сценарии взаимодействия приложений: web-приложение для организатора события и мобильное приложение для участников. Для обеспечения взаимодействия между пользователями и концептом системы разработан интуитивно понятный интерфейс приложений.

В качестве алгоритма проверки посещаемости предложено использовать следующие методы [2]: сканирование QR-кода, выбор случайно сгенерированных карточек в определенной последовательности и прохождение тестирования по материалам мероприятий.

Структура базы данных

Начальным этапом проектирования базы данных является анализ предметной области концепта СКП. На данном этапе были проанализированы по-

требности пользователей, выбраны информационные объекты и обозначены их характеристики для наполнения содержимого информационной системы БД.

В базе данных необходимо хранить:

- информацию о пользователе (ФИО, e-mail, пароль и роль пользователя);
- информацию о мероприятии (название, тип, время начала и окончания, дата проведения, список участников и ФИО организатора, способ КП, случайно сгенерированная уникальная последовательность).

Структура концепта СКП

В представленном концепте используется три сущности:

1. Мобильное приложение используется лицами, проходящими контроль посещаемости (КП), и необходимо для:

- аутентификация пользователей;
- ввода информации, подтверждающей присутствие пользователя на мероприятии;
- отображения прошедших и предстоящих событий;
- отображения учетной информации.

2. Web-интерфейс используется лицами, проводящими КП, и необходим для:

- создания и редактирования мероприятий;
- инициализации сессии мониторинга присутствующих с выбором события и способа подтверждения присутствия;
- отображения результатов проведения мониторинга.

3. Сервер используется в качестве связующей сущности между мобильным приложением и web-интерфейсом и отвечает за:

- хранение учетной информации пользователей системы;
- проверку учетной информации при авторизации пользователей;
- генерацию и кодирование случайной уникальной последовательности для проведения мониторинга;
- проверку информации, введенной лицами, проходящими КП.

Сценарий взаимодействия сущностей (рис. 1).

1. Взаимодействие web-интерфейса и сервера.

Организация мероприятия:

- авторизация лица, проводящего мониторинг в web-интерфейсе (ввод учетных данных, отправка на сервер, сравнение с внесенными в базу данных);
- создание мероприятия (ввод данных о событии, отправка на сервер, запись в базу данных).

Проведение мероприятия:

- авторизация лица, проводящего мониторинг в web-интерфейсе (ввод учетных данных, отправка на сервер, сравнение с внесенными в базу данных);
- выбор события из списка ассоциированных с авторизованным пользователем (запрос списка мероприятий с сервера);
- выбор способа КП (выбор способа подтверждения присутствия из списка, ассоциация способа с выбранным мероприятием);
- инициализация сессии КП (отправка на сервер выбранного способа КП, ассоциированного с выбранным событием, запроса на инициализацию сессии);
- генерация случайной уникальной последовательности на сервере, ее кодирование в соответствии с выбранным способом КП, отображение в web-интерфейсе.

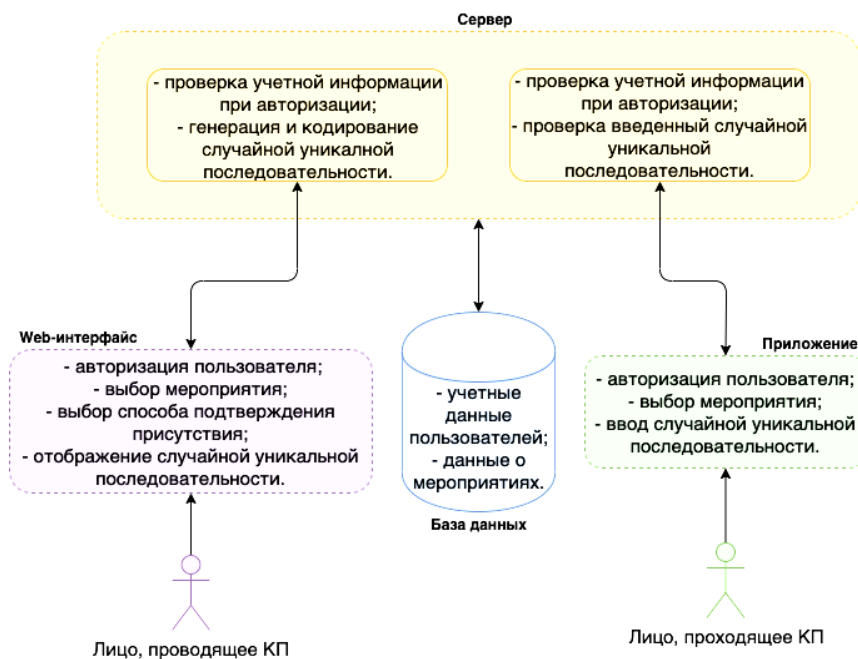


Рис. 1. Схема взаимодействия сущностей СКП

2. Взаимодействие мобильного приложения и сервера:

- авторизация лица, проводящего мониторинг, в мобильном приложении (ввод учетных данных, отправка на сервер, сравнение с внесенными в базу данных);
- выбор мероприятия из списка ассоциированных с авторизованным пользователем (запрос списка мероприятий с сервера);
- ввод в устройство случайной уникальной последовательности, представленной лицом, проводящим мониторинг;
- подтверждение присутствия (отправка введенной последовательности на сервер, ее сравнение со сгенерированной).

Сфера применения

Разработанный концепт СКП может быть использован:

- в общеобразовательных и высших учреждениях (школах, техникумах, лицеях, вузах) [3];

– при проведении конференций разного уровня и формата (мониторинг участников конференции, вопросно-ответная система для выступающих и руководителей мероприятия);

– при проведении других мероприятий с большим количеством участников (в качестве системы мониторинга участников, взаимодействия команд и руководителей, вопросно-ответной системы чата).

Внедрение

Для адекватной оценки эффективности разработанного концепта автоматизированной системы контроля посещаемости участников планируется протестировать его в нескольких учебных группах студентов на факультете безопасности ТУСУРа.

Заключение

В результате выполненной работы был разработан удобный и интуитивно понятный концепт автоматизированной системы для контроля посещаемости участников различных мероприятий и учебных процессов, а также мобильный и web-интерфейс

данного концепта, что позволяет использовать его на повседневно используемом смартфоне, ноутбуке или ПК. Дальнейшим логическим развитием данного концепта является создание полноценной рабочей системы для проверки мониторинга участников на событиях различного уровня и характера проведения.

Разработанный концепт позволяет:

– улучшить и автоматизировать систему мониторинга в целях повышения личной ответственности и самодисциплины;

– минимизировать трудозатраты в процессе мониторинга;

– повысить имидж мероприятия-организатора за счет практического применения новейших технологий системы контроля посещаемости участников;

– повысить уровень информационной культуры участников, соответствующей современным представлениям об информационных технологиях.

Литература

1. Фокина Я.И. Автоматизация системы контроля посещаемости студентов в высших учебных заведениях // Сб. статей научной сессии ТУСУРа: матер. науч.-техн.

конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2020». – 2020. – Ч. 2. – С. 83–87.

2. Гордиенко М.А., Рейдель Е.В. Способы контроля посещаемости // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУРа: матер. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2020». – 2020. – Ч. 2. – С. 34–38.

3. Тараканова А.П. Современные проблемы контроля успеваемости и посещаемости студентов вуза // Научный вестник Моск. гос. горного ун-та. – 2011. – № 4. – С. 38–40.

Фокина Яна Игоревна

Студентка каф. БИС ТУСУРа

Тел.: 8-960-970-88-12

Эл. почта: yana.fokina.1998@mail.ru

Гордиенко Марк Александрович

Студент каф. БИС ТУСУРа

Тел.: 8-952-683-42-08

Эл. почта: 7371_gma@fb.tusur.ru

Харченко Сергей Сергеевич

Канд. техн. наук, доцент каф. БИС ТУСУРа

Эл. почта: kss@keva.tusur.ru

УДК 004.7:056.5

В.А. Рачис

Реализация автоматизированной информационной платформы Интернета вещей – «Micran IoT»

Проведено исследование программ для визуализации IoT-платформы, а также приведены технологии и описание разработанной системы.

Ключевые слова: IoT, Микран, IIoT, Интернет вещей, визуализация, dashboard.

Индустриальный Интернет вещей – Интернет вещей для корпоративного применения, система объединенных компьютерных сетей и подключенных промышленных объектов с датчиками и ПО для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме, без участия человека [1].

Принцип работы технологии заключается в следующем: первоначально устанавливаются датчики, исполнительные механизмы, контроллеры, человеко-машинные интерфейсы на ключевые части оборудования, после чего осуществляется сбор информации, позволяющей получить оценку состояния предприятия.

Могут быть предотвращены внеплановые простои, поломки, сокращение техобслуживания и сбоев в управлении цепочками поставок, тем самым позволяя предприятию функционировать более эффективно [2].

Постановка целей и задач

Цель: реализовать автоматизированную информационную платформу промышленного интернета вещей – «Micran IoT». Данный программный комплекс должен использоваться для визуализации возможностей компании в сфере умных устройств во время предоставления подобных услуг заказчику.

Задачи:

- изучение имеющейся системы для передачи данных на сервер (сочетание устройств, хаба и сервера);
- формирование технического задания;
- выбор средств разработки;
- развертывание и настройка новой инфраструктуры для получения данных с устройств;
- установка и настройка готовых необходимых сервисов;
- создание макета страниц сайта;
- разработка системы.

Комплекс должен содержать следующую функциональность:

- авторизация (с учётом различных прав доступа);
- просмотр списка устройств;
- для администраторов возможность изменения и удаления устройств;
- просмотр информации с датчиков (сейчас ИК-камеры и манометры, однако возможно расширение):

- тепловая карта (только для ИК-камеры);
- текущий показатель (камеры – максимальная температура, манометр – давление);
- RSSI (качество связи);
- уровень заряда батареи;
- график показателей;
- отображение карты устройств (только для ИК-камер) с возможностями:
 - отображения устройств;
 - визуальное отделение:
 - отсутствующих;
 - неактивных;
 - с нормальными показателями;
 - с превышенными показателями;
 - возможность перехода к просмотру информации с устройства;
 - запуск аудиосигнала в случае проблем с каким-то устройством.

Выбранный инструментарий разработки

- Python 3.7 (фреймворк Django 3) – написание backend;
- HTML / CSS / JavaScript – верстка frontend;
- SQLite3 – БД для хранения данных о устройствах (название, тип, критические показатели, местоположение..., иными словами, данные, которые заполняет пользователь системы) и пользователей;
- InfluxDB – хранение информация с самих устройств в первых версиях комплекса;
- MongoDB – хранение информация с самих устройств в последующих версиях комплекса.

Описание системы

Рассмотрим потоки данных (рис. 1).

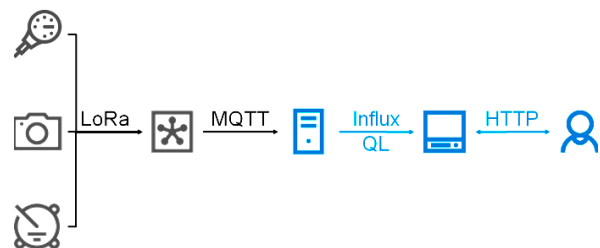


Рис. 1. Потоки данных

Информация с IoT-датчиков (ИК-камеры, манометры и другие) по протоколу LoRa передается на шлюз. Шлюзом в данном проекте выступает базовая станция LoRa IoT Kerlink, однако это может быть любое другое устройство, имеющее схожий функционал.

Затем эти данные по MQTT передаются на сервер. Сервером является компьютер, под управлением Unix-подобной ОС с установленным комплектом программ, включающим MQTT-брокер. Там информация обрабатывается сервисами LoraServer (loraserver и lora-app-server) и преобразуется в пакеты, также они отвечают за первичную визуализацию. В первых версиях программы эти же сервисы отвечают за занесение показателей в базу данных InfluxDB, однако позже был написан скрипт, который заносит полученные данные в необходимую СУБД (MongoDB).

Из этой базы данных показатели считывает развешенное на клиентском компьютере веб-приложение.

С этим приложением взаимодействует пользователь через браузер.

Умные устройства и шлюз, протоколы их взаимодействия, а также комплект программного обеспечения для преобразования полученных данных изменить нельзя, поэтому в качестве изначального источника информации взяты пакеты, полученные от loraserver.

Потоки данных на сервере

Рассмотрим подробнее протоколы данных на сервере (рис. 2).

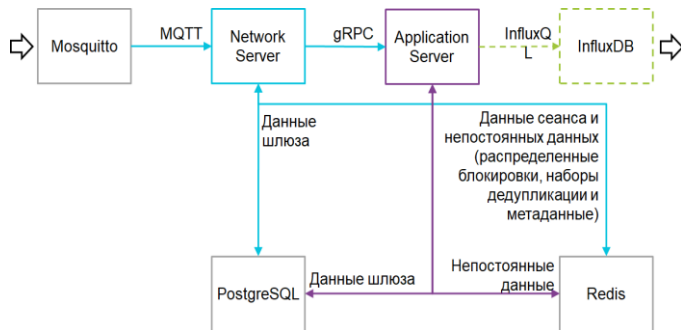


Рис. 2. Потоки данных на сервере

Все компоненты, кроме InfluxDB, необходимы для правильной работы системы loraserver. Рассмотрим их:

- Mosquitto – брокер сообщений с открытым исходным кодом, реализующий протокол MQTT. Mosquitto подходит для использования на всех устройствах – от маломощных одноплатных компьютеров до полноценных серверов;
- loraserver (network server) – реализация сетевого сервера LoRaWAN® с открытым исходным кодом. Ответственность компонента заключается в устранении дублирования полученных кадров шлюзами, а также в их обработке;
- lora-app-server (application server) – отвечает за «инвентаризацию» устройств, обработку запросов на соединение и анализ, шифрование полезных нагрузок. Предлагает веб-интерфейс для управления организациями, приложениями и устройствами;
- PostgreSQL – мощная объектно-реляционная система баз данных с открытым исходным кодом, имеющая более чем 30-летний опыт активной разработки и заслужившая высокую репутацию за

надежность, надежность функций и производительность;

- Redis – хранилище структур данных с открытым исходным кодом в памяти, используемое в качестве базы данных, кэша и брокера сообщений. Поддерживает такие структуры данных, как строки, хэши, списки, наборы и многое другое.

ORM-классы

ORM – технология программирования, которая связывает базы данных с концепциями объектно-ориентированных языков программирования, создавая «виртуальную объектную базу данных». Существуют как проприетарные, так и свободные реализации этой технологии. Рассмотрим созданные классы (рис. 3), также используются встроенные классы, используемые фреймворком Django, однако рассматривать его нет смысла.

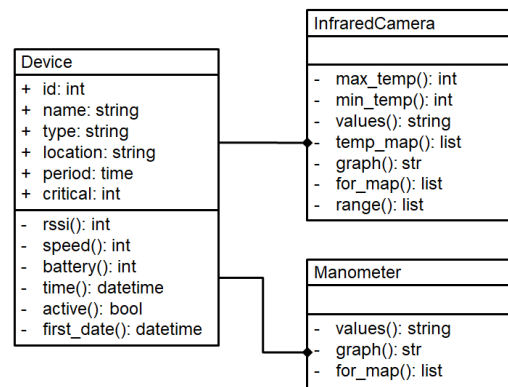


Рис. 3. ORM-классы приложения

Рассмотрим классы подробнее:

- Device (устройство) – абстрактный класс, является родителем конкретных устройств;
 - + id – уникальный идентификатор устройства в БД;
 - + name – имя (совпадает с именем в веб-интерфейсе lora-app-server);
 - + type – тип (ИК-камера, манометр...);
 - + location – расположение, необходимое для карты устройств;
 - + period – время обновления, необходимое для отслеживания активности;
 - + critical – критическое значение (ИК-камеры – макс. темп., для манометра – давление);
 - rssi – возвращает данные RSSI (уровень принимаемого сигнала);
 - speed – скорость передачи данных;
 - battery – показатель батареи;
 - time – время последних полученных данных;
 - active – активность устройства;
 - first_date – дата первого получения данных, необходимого для графиков;
- InfraredCamera (инфракрасная камера / ИК-камера) – класс ИК-камеры:
 - max_temp – возвращает максимальную температуру;
 - min_temp – минимальная температура;
 - values – строка с показателями мин. и макс. температуры;

- temp_map – двумерный массив для отрисовки тепловой карты;
- graph – двумерный массив для отрисовки графика данных;
- fog_map – массив для отрисовки карты устройств;
- range – массив значений для подстановки в легенду карты глубины;
- Manometer (устройство) – класс манометра:
 - values – строка с показателем давления;
 - graph – двумерный массив для отрисовки графика данных;
 - fog_map – массив для отрисовки карты устройств.

Отметим, что атрибуты классов хранят в SQLite3, а методы используют данные из InfluxDB, куда они были записаны сервисами logaserver. Для лучшего понимания смысла ORM рассмотрим пример передачи данных между компонентами программы в Django-проекте (рис. 4).

Предположим, пользователь открыл сайт ИК-камеры, где указаны только id, name и temp. Когда пользователь переходит на такую страницу, происходит вызов функции в компоненте View. В функции происходит получение объекта класса Camera из компонента Model по cam_id. В классе Camera имеется три данных: id, name (берутся с БД SQLite3, куда были записаны при создании объекта камеры) и temp (происходит обработка данных, полученных из InfluxDB). После того как данные были занесены, этот объект класса вызывает отрисовку HTML-документа, подставляя в его шаблон конкретные значения объекта (cam.id, ca.name, cam.temp).

Реализация

Главная страница разработанного комплекса представлена на рис. 5 (все скриншоты обрезаны по вертикали, чтобы не занимать лишнее место).

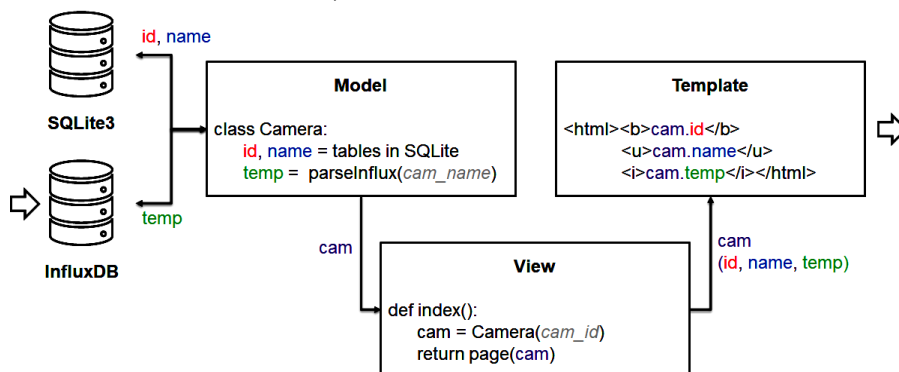


Рис. 4. Передача данных между компонентами программы в Django-проекте



Рис. 5. Главная страница

Слева располагается меню, вверху шапка с картинкой, а по центру текст с описанием комплекса. Сайт сам определяет язык (из cookie), однако его нужно переключить, нажав соответствующую кнопку флага (рис. 6).

Войдем в аккаунт. Для этого нажимаем на соответствующую кнопку и вводим логин и пароль в форму (рис. 7).

Вернемся на русский язык и перейдем на страницу списка устройств (рис. 8).

Если пользователь является администратором, то он может добавлять и редактировать (рис. 9) устройства.

Обычный же пользователь не имеет данных возможностей (рис. 10).

Далее перейдем на страницу ИК-камеры (рис. 11). На ней имеется карта температур, показатель максимальной температуры, RSSI, скорость, батарея (текущий заряд в процентах), а также график, который можно подробно изучать, отдаляя и приближая по времени.

Последней страницей является карта устройств (рис. 12), на которой показаны камеры в локациях, а также их состояние.

Заключение

В рамках работы над проектом была реализована автоматизированная информационная платформа промышленного Интернета вещей – «Micran IoT». Платформа готова к внедрению, однако окончательного внедрения с подписанием документов не было. Платформа введена в тестовую эксплуатацию на одном из предприятий СИБУРа. «Micran IoT» проходил опытную эксплуатацию в СИБУРе (г. Воронеж и г. Томск).

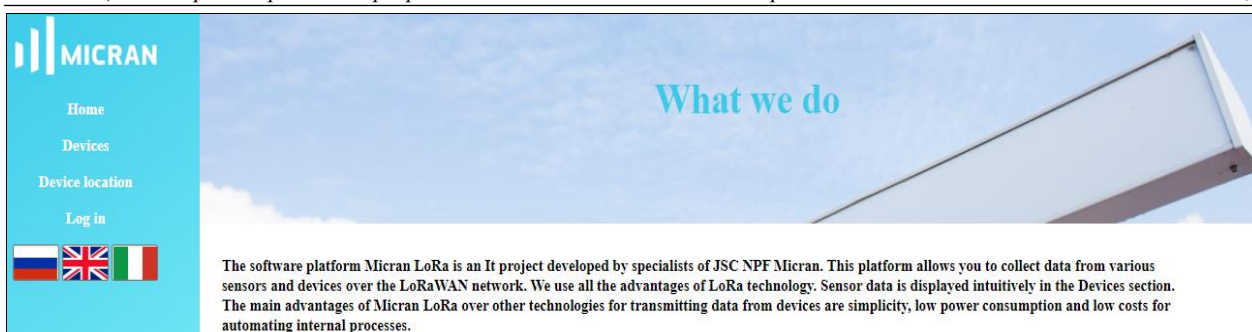


Рис. 6. Английская версия

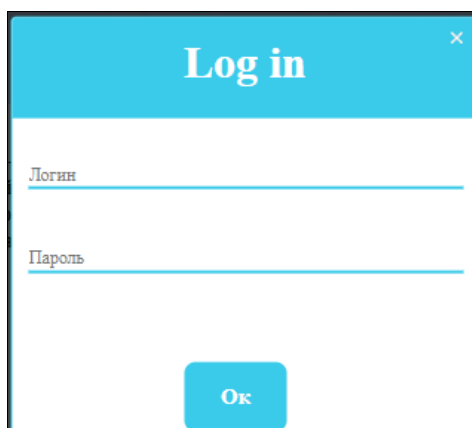


Рис. 7. Форма входа

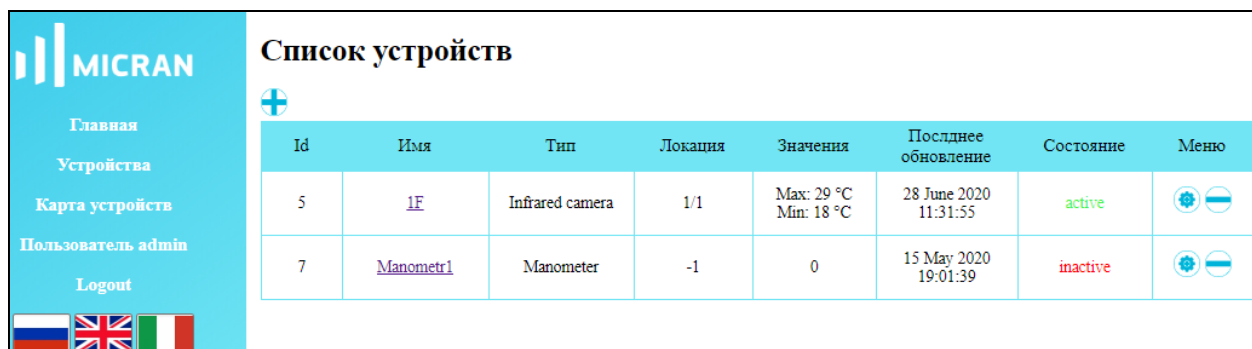


Рис. 8. Список устройств (версия администратора)

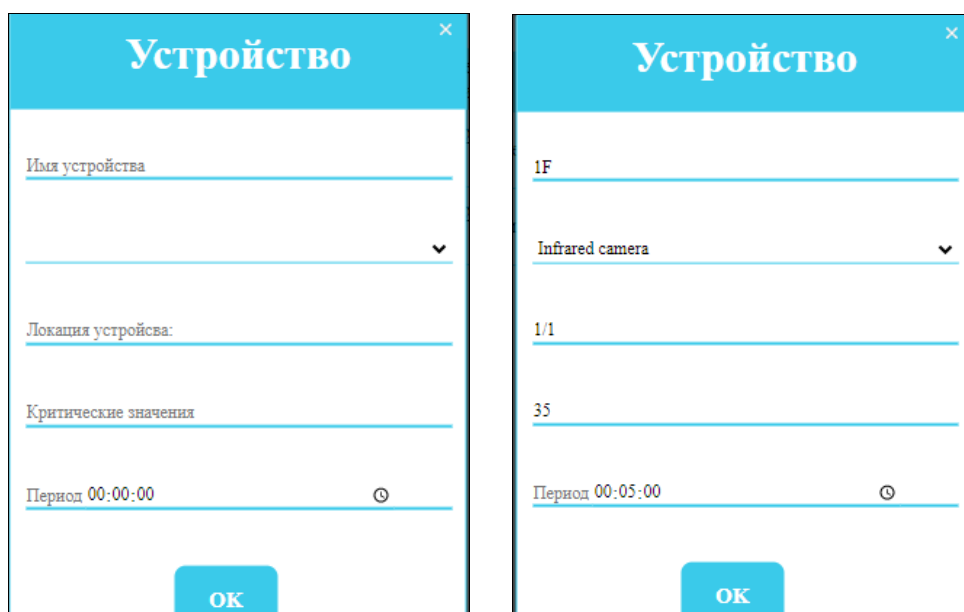


Рис. 9. Добавление и редактирование устройств


 Список устройств						
Id	Имя	Тип	Локация	Значения	Последнее обновление	Состояние
5	<u>1F</u>	Infrared camera	1/1	Max: 29 °C Min: 20 °C	28 June 2020 11:33:09	active
7	<u>Manometr1</u>	Manometer	-1	0	15 May 2020 19:01:39	inactive

Рис. 10. Список устройств (версия пользователя)

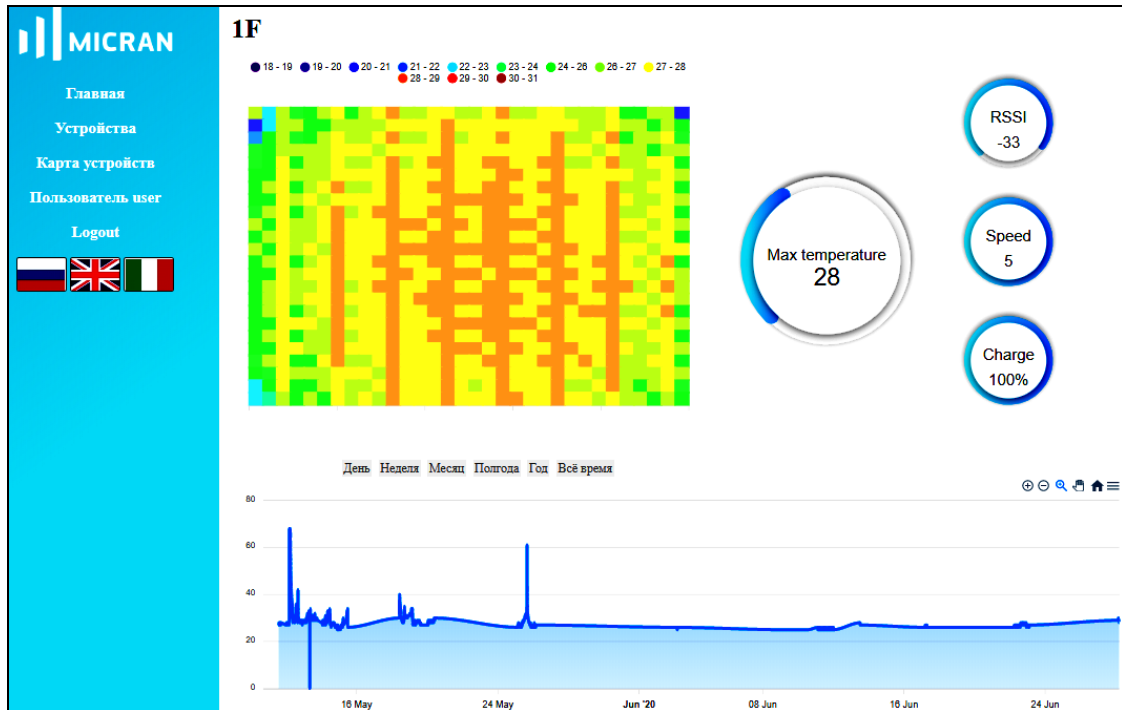


Рис. 11. Страница ИК-камеры

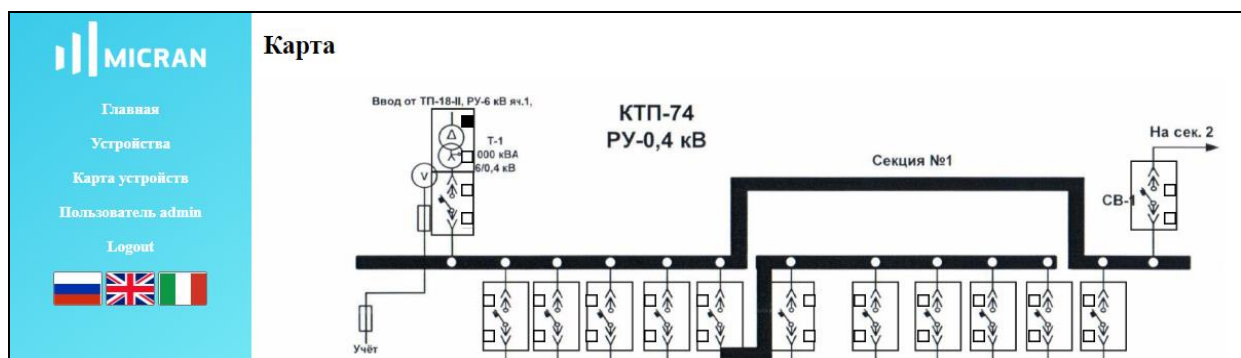


Рис. 12. Карта устройств

Литература

1. Industrial Internet of Things – IIoT. Промышленный Интернет вещей: tadviser. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:IIoT_-_Industrial_Internet_of_Things_\(Промышленный_интернет_вещей\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:IIoT_-_Industrial_Internet_of_Things_(Промышленный_интернет_вещей)) (дата обращения: 28.06.2020).

2. IIoT Applications / Internet of Things Wiki. – URL: <https://internetofthingswiki.com/moving-from-preventive-to->

[predictive-maintenance-in-iiot-projects/1348/iiot-applications/](https://internetofthingswiki.com/moving-from-preventive-to-predictive-maintenance-in-iiot-projects/1348/iiot-applications/) (дата обращения: 28.06.2020).

Рачис Всеволод Андреевич

Магистрант отд. информационных технологий ОИТ НИ ТПУ
Ленина пр-т, д. 30, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: 8 (382-2) 60-63-33
Эл. почта: tpu@tpu.ru

УДК 004.4

Л.С. Шилов, М.И. Васильева, А.В. Куртукова, А.С. Романов

Разработка архитектуры программного комплекса для трехмерной реконструкции формы стопы человека по видеопотоку

Демонстрируется архитектура программного комплекса, предназначенного для трехмерной реконструкции формы стопы человека. Разрабатываемый программный комплекс позволит использовать камеру смартфона как инструмент при создании 3D-моделей, используя полученный видеопоток, система преобразует его в серию изображений, достаточных для создания 3D-модели. Полученная модель совершенствуется путем сегментации изображения нейронной сетью.

Ключевые слова: 3D-представление, искусственный интеллект, реконструкция стопы, архитектура, микросервисы, обработка видеопотока, нейронная сеть.

В век информационных технологий, в частности, с увеличением популярности и ежегодным ростом пользователей в сети Интернет, наблюдается активный спрос товара на рынке легкой промышленности. Активное увеличение спроса наблюдается и на рынках кожевенно-обувной отрасли. Это связано с ростом популярности покупок в интернет-магазинах. Большинство интернет-магазинов ориентировано на массового потребителя, игнорируя при этом рынок покупателей с ортопедическими заболеваниями.

Производство ортопедической пары обуви на данный момент имеет ряд особенностей и осуществляется в несколько этапов: снятие гипсового слепка стопы, создание индивидуальной колодки, производство колодки, моделирование, сборка заготовки, примерка, пошив конечного изделия. Процесс создания конечного изделия занимает много времени и очевидно, что дистанционного участия покупателя, ввиду невозможности проведения первого этапа, не подразумевается.

Процесс разработки такого программного обеспечения, которое позволило бы производителям в области ортопедической промышленности свести к минимуму личное участие покупателя, стоит начинать именно с аналитической части и проектирования деталей будущего программного комплекса. Именно в момент проектирования архитектуры будущего программного обеспечения закладываются эффективность, гибкость, расширяемость, масштабируемость и тестируемость системы.

Таким образом, целью работы является проектирование архитектуры для программного комплекса, предназначенного для трехмерной реконструкции формы стопы человека по видеопотоку, позволяющего свести к минимуму личное участие покупателя.

Анализ существующих аналогов программного обеспечения

В бесплатном программном обеспечении (ПО) Meshroom [1] используются алгоритмы компьютерного зрения AliceVision [2], предназначенные для 3D-реконструкции и отслеживания камеры в пространстве. В основе ПО лежат принципы фотограмметрии – науки об измерениях по фотографиям. Ав-

торы рассматривают два основных этапа, необходимых для получения реконструированных моделей.

На первом этапе применяется метод Structure-from-Motion для внутренней калибровки всех камер и последующего получения набора откалиброванных изображений с облаком точек. На втором этапе применяется метод MultiView-Stereo для получения текстурированной сетки по откалиброванным изображениям, результатом данного этапа является реконструированная трехмерная модель в формате OBJ.

Авторы платного ПО Reality Capture [3] предлагают использовать систему, позволяющую реализовывать трехмерные модели из 2 500 изображений на один проект. Данная система ориентирована на реконструкцию различных 3D-моделей и также основывается на методах фотограмметрии.

В ядре платного ПО Agisoft Metashape [4] лежат методы классической цифровой фотограмметрии, подкрепленные алгоритмами компьютерного зрения, которые в совокупности позволяют реализовать трехмерную модель более чем по 5 000 изображений, однако существенным недостатком ПО являются высокие системные требования.

Авторы системы AtlasNet [5] применяют методы генерации трехмерных форм с использованием глубоких нейронных сетей для построения облака точек и реконструкции трехмерных моделей. Недостатком системы в рамках разрабатываемого программного комплекса является построение трехмерной модели только по одному ракурсу изображения, что не дает полного представления объемной формы объекта.

В работе [6] авторы применяют метод анализа главных компонент (PCA) на основе 40 параметров, получаемых по трем изображениям стопы. После чего изображения сегментируются для извлечения силуэтов и углов листа A4, далее происходит минимизация расстояния от силуэтов модели PCA. Результатом работы системы является реконструированная модель формы стопы человека с погрешностью менее 2% от реальных замеров по следующим параметрам: длина стопы, обхват пальцев ног, ширина пальцев, высота подъема, обхват подъема. Существенным недостатком системы является отсутствие реконструированного нижнего свода стопы.

Таким образом, определенные модули в работах [1, 2, 6] могут быть использованы в дальнейшем при разработке программного комплекса.

Архитектура программного комплекса для трехмерной реконструкции формы стопы человека

В настоящее время выделяют два основных подхода к проектированию архитектуры программного обеспечения: монолитный и микросервисный. Мартин Фаулер [7] определил архитектуру микросервисов как подход к разработке небольших сервисов, работающих как единое приложение, что позволяет упростить процессы обслуживания, повторного использования, доступности, автоматического развертывания. Главным преимуществом микросервисного подхода перед монолитным является возможность масштабировать отдельные сервисы.

В конечном итоге выбор микросервисного подхода для разрабатываемого комплекса обусловлен упрощенной масштабируемостью, гибкостью и возможностью использовать различный стек технологий.

На рис. 1 представлена разработанная микросервисная архитектура, в которой демонстрируются компоненты, позволяющие реализовать авторскую технологию, предназначенную для реконструкции пространственной формы стопы человека при помощи искусственного интеллекта. Архитектура программной системы предполагает наличие микросервисов, взаимодействие между которыми осуществляется через RestAPI [8], интерактивный интерфейс для взаимодействия с системой, веб-сервер, панель управления, технологию API Gateway, выступающую в роли шлюза для всех микросервисов.

В представленной архитектуре реализованы 3 микросервиса:

- сервис аккаунтов: общая аутентификация между устройствами;
- сервис обработки видеоизображений: классификация, кадрирование, калибровка;
- сервис машинного обучения: построение трехмерной модели.

Таким образом, реализацию каждого сервиса можно доверить отдельной команде разработчиков.

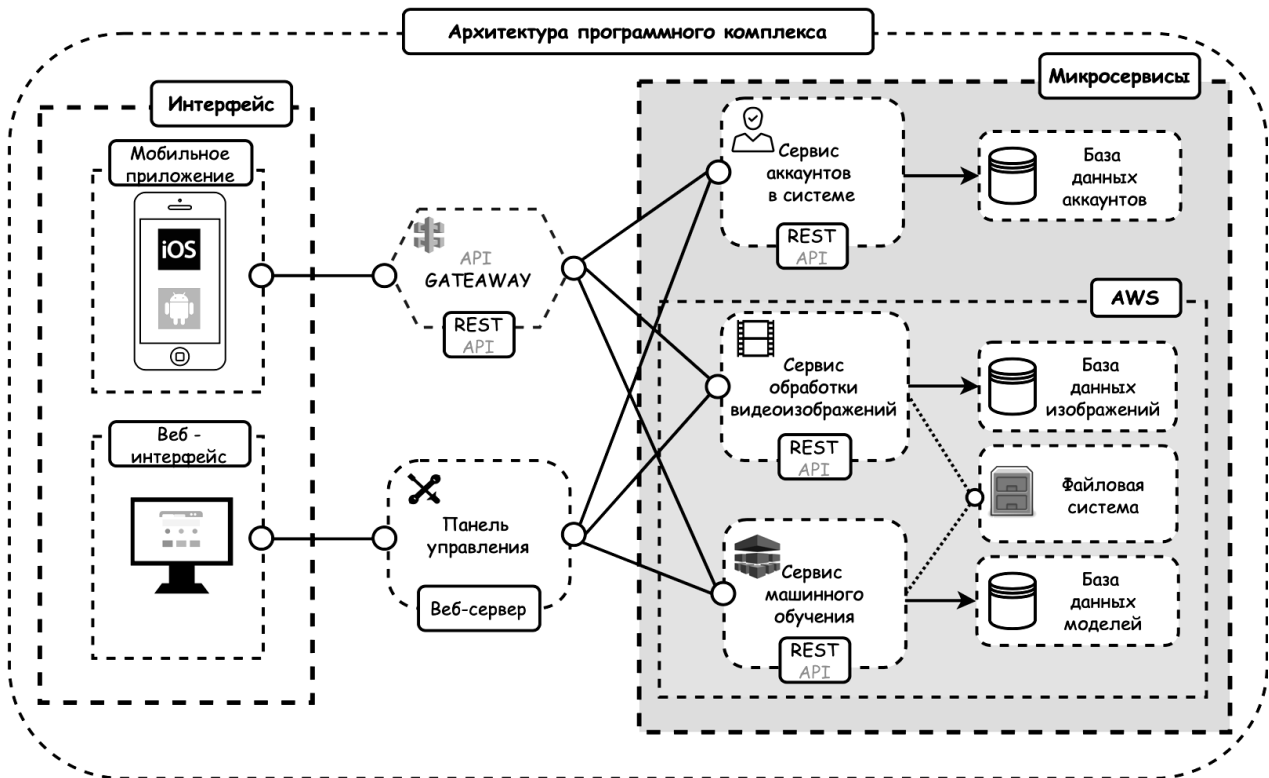


Рис. 1. Архитектура программного комплекса

Интерактивное взаимодействие пользователя с системой осуществляется через нативное приложение для устройств под системой iOS или Android на языках программирования Swift и Kotlin соответственно. Выбор нативного подхода разработки обусловлен тем, что в дальнейшем по мере развития в системе будут использоваться сенсорные датчики LiDAR [9] для пространственного сканирования объектов, требующие полной программной и аппаратной поддержки мобильного устройства. Также для производителей предусмотрен веб-интерфейс, в

котором есть информация о пользователях и их 3D-моделях стоп.

Для реализации взаимодействия микросервисов был сделан выбор в пользу архитектурного стиля взаимодействия компонентов – RestAPI. Это обусловлено наличием подробной документации на данный метод, а также простотой его реализации.

Для координации работы всех сервисов и отслеживания их состояния было принято решение разрабатывать серверную часть на языке программирования Python с применением фреймворка Django.

Технология трехмерной реконструкции формы стопы человека по видеопотоку

В программном комплексе предполагается использование авторской технологии реконструкции трехмерной формы стопы человека при помощи нейронной сети [10]. Данная технология подразумевает ввод антропометрических данных и круговую видеосъемку стопы. Полученный видеопоток кадрируется, формируя ряд 2D-изображений. С помощью дифференцируемого интерполяционного визуализатора (DIB-R) [11] формируется готовая трехмерная модель стопы. После чего полученная модель сегментируется на основе введенных антропометрических данных. Итоговая трехмерная модель представлена на рис. 2 и может быть передана производителю в цифровом виде.

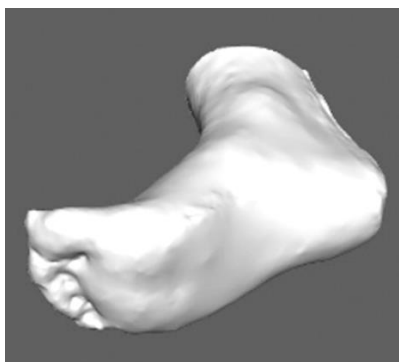


Рис. 2. Реконструированная трехмерная модель

В работе также был проведен эксперимент, заключавшийся в оценке качества кластеризации 30 реконструированных трехмерных моделей добровольцев нейронной сетью DIB-R. Для оценки использовался индекс Жаккара, его среднее значение для всего набора данных составило 78,3%.

Данный результат является приемлемым для использования 3D-моделей в качестве каркаса для виртуальной примерки обуви, но не полноценной реконструированной модели, по которой можно было бы изготавливать ортопедическую пару обуви.

Заключение

В данной статье были рассмотрены аналоги программного обеспечения, предназначенного для реконструкции 3D-моделей. В рамках поставленной задачи был определен подход проектирования, реализована микросервисная архитектура, а также выполнено подробное описание компонентов, необходимых для разработки программного комплекса.

Исследование проводится при поддержке Фонда содействия инновациями по договору № 538 ГУ-ЦЭС8-D3/62098 от 05.10.2020 г.

Литература

1. Meshroom: 3D Reconstruction Software based on the AliceVision [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/alicevision/meshroom>, свободный (дата обращения: 03.09.2020).
2. AliceVision: Photogrammetric Computer Vision Framework [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://github.com/alicevision/AliceVision>, свободный (дата обращения: 04.09.2020).

3. RealityCapture: Mapping and 3D Modeling Photogrammetry [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.capturingreality.com>, свободный (дата обращения: 05.09.2020).

4. Agisoft Metashape [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agisoft.com>, свободный (дата обращения: 05.09.2020).

5. Groueix T., Fisher M., Kim V.G., Russell B.C., Aubry M. AtlasNet: A Papier-Mache Approach to Learning 3D-Surface Generation. arXiv preprint arXiv:1802.05384, 2018.

6. E. Parrilla et al. (2015). Low-cost 3D foot scanner using a mobile app. Footwear Science. – 2015. – P. 26–28.

7. Al-Debagy O. A Comparative Reviews of Microservices and Monolithic Architectures / O. Al-Debagy, P. Martinek. – 2019. – eprint: arxiv: 1905.

8. GitHub REST API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.github.com/en/rest>, свободный (дата обращения: 10.09.2020).

9. Visualizing and Interacting with a Reconstructed Scene [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://developer.apple.com/documentation/arkit/world_tracking/visualizing_and_interacting_with_a_reconstructed_scene, свободный (дата обращения: 11.09.2020).

10. Куртукова А.В., Шилов Л.С., Федотова А.М. Разработка технологии и программной системы для трехмерной реконструкции формы стопы человека по видеопотоку // Сб. науч. тр. XVII Междунар. конф. студентов и молодых ученых. – 2020. – Т. 7. – С. 65–67.

11. Learning to Predict 3D-Objects with an Interpolation-based Differentiable Rendered [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/nv-tlabs/DIB-R>, свободный (дата обращения: 11.09.2020).

Шилов Лев Сергеевич

Студент каф. безопасности информационных систем (БИС) Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-999-619-32-87
Эл. почта: lionshilov@yandex.ru

Васильева Мария Игоревна

Студентка каф. комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС) ТУСУРа Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-999-495-08-76
Эл. почта: mariaigorevna1206@gmail.com

Куртукова Анна Владимировна

Студентка каф. БИС ТУСУРа пр. Ленина, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-905-991 6713
Эл. почта: av.kurtukova@gmail.com

Романов Александр Сергеевич

Канд. техн. наук, доцент каф. БИС ТУСУРа пр. Ленина, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 41-34-26
Эл. почта: alexx.romanov@gmail.com

УДК 004.415.25

Е.Р. Калужный, И.Д. Ксендзовский, Н.В. Зариковская

Архитектуры и технологии реализации современных информационных систем

Совершенствование технологий и средств реализации позволяет усовершенствовать системы, усложняя их, но в то же время делая их удобными для пользователей. В данной статье рассмотрена архитектура современных информационных веб-систем с одновременной реализацией их для мобильных устройств. Описаны основные способы реализации таких систем для мобильных устройств через адаптации веб-систем с использованием адаптивной верстки или разработки мобильного приложения.

Ключевые слова: веб-система, адаптивный сайт, мобильное приложение, REST, WebSocket, Android, iOS.

В настоящее время рынок информационных систем сформирован и постоянно наполняется. Совершенствование технологий и средств реализации позволяет усовершенствовать системы, усложняя их, но в то же время делая их удобными для пользователей. С этой целью реализовывают не только веб-системы, а также системы, адаптированные под мобильные устройства. Существует два способа адаптации веб-системы под мобильные гаджеты: адаптивная верстка сайта и разработка мобильного приложения, которые могут быть реализованы с помощью кроссплатформенных или нативных технологий.

Веб-системы реализуют клиент-серверную архитектуру, которая представляет собой клиентскую и серверную части.

Клиентская часть – это веб-страница, которую пользователь открывает в браузере для работы с этим веб-ресурсом.

Серверная часть представляет собой бизнес-логику работы данного ресурса, а также базу данных, в которой хранятся все данные этого веб-ресурса.

Взаимодействие серверной и клиентской части происходит через application programming interface (API) [1]. Схема взаимодействия клиента и сервера представлена на рис. 1.

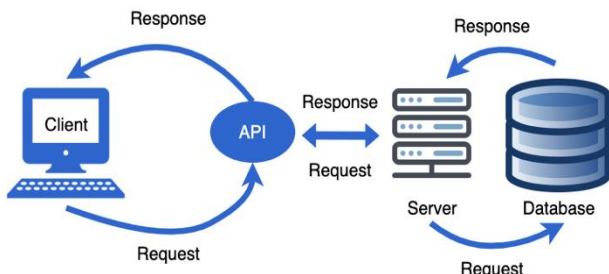


Рис. 1. Схема взаимодействия клиента и сервера

Существуют две известные реализации API: Representational State Transfer (REST) и Web Sockets.

REST – это архитектура организации взаимодействия приложения/сайта с сервером посредством протокола HTTP (HyperText Transfer Protocol). Особенность REST [2] в том, что сервер не запоминает состояние пользователя между запросами – в каждом запросе передаётся информация, идентифицирующая пользователя и все параметры, необходи-

мые для выполнения операции. Всё взаимодействие с сервером сводится к четырём операциям, называемым CRUD (READ, CREATE, DELETE, UPDATE) [3]. Каждая операция должна выполнять определённые правила:

- READ – получение данных с сервера (обычно в формате JSON, или XML);
- CREATE – добавление новых данных на сервер;
- UPDATE – модификация существующих данных на сервере;
- DELETE – удаление данных на сервере;
- каждый URL является ресурсом.

Операция получения данных не может приводить к изменению состояния сервера. Для каждого типа операции используется свой метод HTTP-запроса:

- получение – GET;
- добавление – POST;
- модификация – PUT;
- удаление – DELETE.

Протокол WebSocket (стандарт RFC 6455) предназначен для решения любых задач и снятия ограничений обмена данными между браузером и сервером. Протокол WebSocket работает над TCP. Благодаря WebSocket, можно реализовать привычный пользователю чат, в котором новые сообщения приходят на устройство без какого-либо действия пользователя.

Он позволяет пересылать любые данные на любой домен безопасно и почти без лишнего сетевого трафика [4].

Адаптации таких систем под мобильные устройства реализуется тремя способами: адаптация сайта под мобильные устройства, разработка мобильной версии сайта и разработка мобильного приложения.

Адаптивная верстка сайта под мобильные устройства представлена на рис. 2 и 3.

Адаптивная верстка сайта подразумевает адаптацию элементов пользовательского интерфейса под разные экраны от маленьких экранов мобильных телефонов до больших экранов планшетов. Преимуществами такого подхода являются:

- адаптация сразу под все мобильные устройства независимо от операционной системы, будь то iOS, Android или Windows Phone;

- изменения на сайте также отображаются на мобильных устройствах;
- не требует дополнительной разработки, кроме веб-системы.

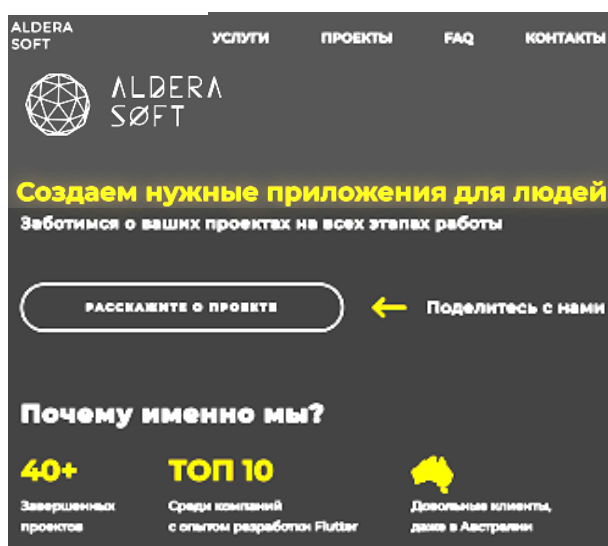


Рис. 2. Скриншот адаптивного сайта с компьютерного монитора

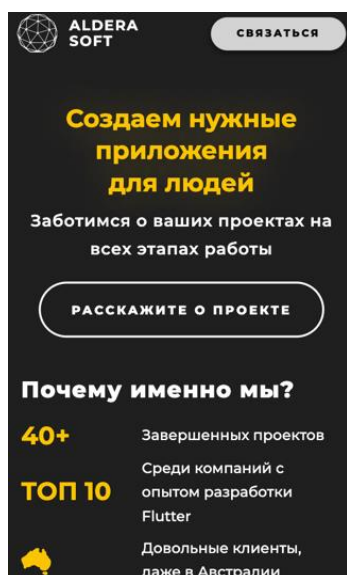


Рис. 3. Скриншот адаптивного сайта с мобильного устройства

Недостатками данного подхода являются:

- весь контент, который есть на сайте, также будет виден в мобильном приложении. Некоторые части сайта могут быть абсолютно бесполезными для мобильного приложения, и их лучше не показывать;
- необходимо постоянное подключение к Интернету;
- медленный в плане производительности и скорости работы на мобильном устройстве.

Мобильная версия сайта представляет собой отдельное веб-приложение, вынесенное в другой поддомен веб-системы. Например, сайт «ВКонтакте» для портативных и десктопных компьютеров размещен на домене «<https://vk.com>», в то время как

мобильная версия сайта расположена на домене «<https://m.vk.com>». Преимущества данного подхода, следующие:

- в мобильную версию сайта включен только тот контент, который нужен пользователю мобильного приложения;
 - знакомая и удобная пользователю навигация, например в виде нижней панели или «бургер»-навигации;
 - не нужно адаптировать элементы пользовательского интерфейса под компьютерные мониторы.
- Недостатки данного подхода, следующие:
- необходима разработка отдельного веб-приложения для мобильной версии сайта;
 - медленный по скорости на мобильном устройстве;
 - необходимо постоянное подключение к Интернету;
 - при внесении изменений на основной сайт, нужно вносить изменения в мобильную версию сайта.

Мобильное приложение представляет собой отдельное приложение, которое будет размещено в магазинах App Store или Google Play. Мобильное приложение содержит нужную логику, которая требуется пользователю. В нем, как правило, есть удобная навигация, которая позволяет быстро переключаться между разделами мобильного приложения. Также, в мобильном приложении для удобства пользователя, может быть реализовано локальное хранение некоторых данных для доступа к ним в режиме offline.

Мобильные приложения разрабатывают двумя подходами: кроссплатформенными и нативными средствами.

Кроссплатформенная разработка – это разработка мобильных приложений с возможностью адаптации под несколько систем, например под Android и iOS.

Нативная разработка – это разработка мобильных приложений с использованием официальных средств, предоставляемых разработчиками системы, для которой пишется приложение.

Выбрать тот или иной подход не является тривиальной задачей, так как у каждого подхода есть свои преимущества и недостатки [5].

Кроссплатформенную разработку обычно используют для «легких» приложений, которые отображают информацию, полученную с сервера, отправляют данные на сервер и выполняют несложные операции с загрузкой картин или видео, а также их несложную обработку. В итоге получается два мобильных приложения для iOS и Android мобильных операционных систем, которые имеют одну кодовую базу, т.е. при внесении изменения в код это отобразится на двух платформах [5].

Нативная разработка может также применяться для «легких» приложений. Но в основном такой способ разработки используется для написания сложных приложений с масштабируемой архитектурой для многоуровневой обработки фотографий и видео, для доступа к программно-аппаратным функциям операционной системы и разработки полно-

стью кастомизированных элементов пользовательского интерфейса, которые сохраняют свою «родную» производительность и быстродействие.

Преимущества мобильного приложения следующие:

- главное преимущество – скорость работы и время отклика;
- привычный для пользователя интерфейс;
- доступ к функциям телефона, таким как камера, галерея, список контактов, календарь, push-уведомления, биометрические способы подтверждения личности владельца телефона и т.д.;
- есть возможность реализовать offline-режим для работы в приложении без Интернета.

Недостатки мобильного приложения, следующие:

- необходимо создание двух мобильных приложений в случае нативного способа разработки или одного мобильного приложения в случае кроссплатформенного подхода, что все равно трудозатратней, чем написание адаптивного сайта или мобильной версии сайта;
- при внесении изменения на сайт необходимо вносить изменение в одно приложение, если оно кроссплатформенное, или в два разных приложения, если оно реализовано нативно.

Заключение

Рассмотренные выше архитектуры и технологии позволяют утверждать, что развитие информационных систем идет по направлению создания информационных систем в совокупности с адаптацией для мобильных устройств. Данному факту способствует существенное увеличение мобильных устройств у потребителей и их систематического использования. Современные технологии стремятся (угнаться) за потребительским рынком, и степень их развития позволяет реализовывать данные сочетания в различных вариантах.

Литература

1. Что такое API? Простое объяснение для начинающих [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dev.by/news/chto-takoe-api-prostym-yazykom>, свободный (дата обращения: 30.05.2020).

2. REST: простым языком [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://medium.com/@andr.ivas12/rest-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8B%D0%BC-%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA%D0%BE%D0%BC-90a0bca0bc78>, свободный (дата обращения: 30.05.2020).

3. CRUD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1266403>, свободный (дата обращения 30.05.2020).

4. WebSocket [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://learn.javascript.ru/websockets>, свободный (дата обращения: 30.05.2020).

5. Что выбрать: кроссплатформенная или нативная разработка мобильного приложения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/dev/88974-chto-vybrat-krossplatformennaya-ili-nativnaya-razrabotka-mobilnogo-prilozheniya>, свободный (дата обращения: 30.05.2020).

6. Ксендзовский И.Д., Калужный Е.Р., Зариковская Н.В. Адаптация информационных систем под мобильные устройства // Современные вызовы и перспективы молодежной науки: сб. статей междунар. науч.-практ. конф., 7 июня 2020 г. – Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2020. – С. 110–115 (дата обращения: 30.05.2020).

Калужный Евгений Романович

Студент Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-913-865-51-97
Эл. почта: kalyuzhnyer@gmail.com

Ксендзовский Илья Дмитриевич

Студент ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-923-445-03-24
Эл. почта: ksendzi1996@gmail.com

Зариковская Наталья Вячеславовна

Доцент каф. АОИ ТУСУРа
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID: 0000-0003-0423-5635
Тел.: +7-913-824-62-50

Секция 20

**ЭЛЕКТРОННОЕ ГОСУДАРСТВО:
ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И АДМИНИСТРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ**

Председатель секции – *Сидоров Анатолий Анатольевич*, зав. каф. АОИ, канд. экон. наук

УДК 621.396.41

А.А. Сидоров, Е.И. Косенко

Вызовы цифровой экономики в условиях пандемии COVID-19

Рассмотрены положительные и отрицательные стороны некоторых проявлений современных реалий, связанных с развитием цифровой экономики. Основной акцент сделан на взаимосвязь угроз и возможностей применения информационно-коммуникационных технологий в данной сфере, поскольку угроза – всегда вызов, но не каждый вызов – угроза. Проанализировано влияние пандемии на функционирование механизмов цифровой экономики. Предложены рекомендации, позволяющие минимизировать негативное воздействие дестабилизирующих факторов.

Ключевые слова: цифровая экономика, вызов, угроза, киберугроза, рекомендации.

Цифровизация – это глобальный процесс, вызванный стремительным развитием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и вносящий изменения во многие аспекты жизни современного общества. Экономика не стала исключением, поскольку развитие ИКТ привело к появлению цифровой экономики.

Цифровая экономика представляет собой обновленный вариант экономического уклада, направленный на переход от функционирования традиционных рынков и соответствующей системы управления к инновационному механизму с применением цифровых технологий во всех сферах экономической деятельности. Коротко цифровую экономику можно охарактеризовать как экономику, основанную на цифровых технологиях [1].

Использование цифровых технологий неизбежно для тех стран, которые стремятся сохранить конкурентоспособность и выйти на уровень, сопоставимый с показателями развитых государств, которые являются общепризнанными лидерами мировой экономики.

Внедрение технологий, необходимых для развития цифровой экономики, служит причиной появления вызовов, которые оказывают ощутимое влияние на развитие международных отношений, политики, торговли и многих других аспектов жизни современного общества.

При этом вызов представляет собой изменение внешней среды, которое может оказывать как дестабилизирующее воздействие на любую сферу деятельности человека и общества (представлять угрозу), так и способствовать их развитию (предоставлять дополнительные возможности) [2].

На рис. 1 представлена взаимосвязь положительных и отрицательных сторон вызовов цифровой экономики.

Угрозу рассматривают как совокупность условий и факторов, которые могут причинить вред объекту воздействия.

Пандемия коронавируса доказала значимость и необходимость внедрения цифровой экономики, подчеркнув ее неоспоримые преимущества перед традиционной экономикой без привлечения и активного использования информационных технологий. Однако в условиях пандемии угрозы и риски, с которыми сталкивается общество, значительно обострились. Сложившаяся ситуация выявила, что взаимодействие через Интернет – это главное, а в некоторых сферах единственно возможное средство функционирования бизнеса.



Рис. 1. Взаимосвязь положительных и отрицательных сторон вызовов цифровой экономики

Общие вызовы и угрозы цифровой экономики

Под современными реалиями в сфере цифровой экономики подразумеваются электронный документооборот, финансовые операции с использованием системы электронных платежей, совершение покупок в интернет-магазинах, а также роботизация как

технологических процессов, так и некоторых других видов человеческой деятельности.

Рассмотрим положительные и отрицательные стороны различных проявлений современных реалий, связанных с внедрением цифровой экономики (таблица).

Итак, в таблице представлены пять основных, на наш взгляд, проявлений современных реалий цифровой экономики, затрагивающих сферы интересов всех субъектов мировой экономики, от крупных международных компаний, их сотрудников и

партнеров, до конечных потребителей и каждого из нас, в частности.

На рис. 2 представлена структура угроз цифровой экономики в соответствии с таблицей.

Классифицируя вызовы, можно выделить прогнозируемые и непредсказуемо возникающие изменения. В первом случае можно спрогнозировать и заранее проанализировать причины их возникновения и возможные последствия. Вызовы, относящиеся ко второму типу, возникают неожиданно и могут иметь последствия, о которых невозможно говорить заранее.

Анализ современных реалий цифровой экономики

Преимущества	Проявления	Контрпреимущества
Обработка и хранение документации на электронных носителях ускоряет все процессы взаимодействия	Ведение электронного документооборота	Повышается вероятность несанкционированного доступа (НСД) к конфиденциальной информации
Удобство и комфорт работы из дома, снижение временных затрат	Переход в дистанционный режим работы	Ненадежность каналов передачи информации вне корпоративной сети
Операции совершаются быстрее и качественнее (минимизирован человеческий фактор)	Роботизация	Рост безработицы, исчезновение ряда профессий и даже отраслей
Мобильность и универсальность оплаты товаров и услуг, проведения банковских операций	Использование системы электронных платежей	Повышение рисков интернет-мошенничества, создание фишинговых сайтов, дублирующих дизайн официальных сайтов, с целью получения выгоды
Рынок становится более гибким, повышается доступность товаров и услуг	Совершение покупок в интернет-магазинах	



Рис. 2. Структура основных угроз цифровой экономики

Вызовы, которые можно назвать прогнозируемыми, возникают регулярно, например колебание цен на различные виды товаров и услуг. К непредсказуемо возникающим вызовам относятся явления, происходящие впервые. Безусловно, человечество не раз сталкивалось с эпидемиями и пандемиями, но современная экономическая ситуация отличается внедрением цифровизации.

Особенности, обусловленные пандемией COVID-19

По мнению экспертов, с появлением коронавируса скорость цифровизации экономики возросла в 10 раз [3].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что пандемия является вызовом для общества и в особенности для экономики.

С точки зрения крупных компаний возможность использования цифровых технологий стала необхо-

димым условием для того, чтобы избежать экономического упадка и банкротства.

Далее рассмотрим проблемы, ставшие особенно актуальными в условиях пандемии. Одни из них обусловлены необходимостью использования ИКТ в качестве инструмента осуществления экономической деятельности (таблица), другие связаны именно со значимостью темы пандемии COVID-19 для пользователей Всемирной сети.

На схеме, представленной на рис. 3, перечислены основные киберугрозы, ставшие наиболее актуальными в период пандемии. Это можно подтвердить следующими фактами:

1. Число интернет-ресурсов, созданных для реализации мошеннических схем, выросло вдвое в первом квартале 2020 г. по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Потенциальный ущерб может составить более 3 млрд руб., сообщает «Лаборатория Касперского» [4].

2. По результатам социологического опроса, проведенного в европейских странах, неожиданный переход на удаленную работу вызвал трудности: только 28% отметили, что были полностью готовы к этому, а треть респондентов признали технологии своей главной уязвимостью. Если говорить о технологиях, главными проблемами являются удаленная IT-поддержка (35%), несовершенство средств управления рабочими процессами (27%), нехватка инструментов коммуникации и совместной работы (22%), а также облачные решения (10%) [5].

3. Начиная с середины февраля текущего года, произошел значительный рост числа кибератак, связанных с коронавирусом. Так, только за последние

две недели их количество резко возросло с нескольких сотен до более чем 5 000 в день. В среднем ежедневно совершается около 2 600 атак.

Злоумышленники очень быстро адаптируются к изменению повестки дня. Они пользуются страхом людей перед пандемией и используют фишинговые рассылки, а также другого рода интернет-мошенничество, чтобы получить материальную выгоду.

Индикатором потенциально вредоносных ресурсов является упоминание слов «согопа» или «сovid» или смежных с ними в домене, названиях файлов, теме и тексте писем, рассылаемых по электронной почте.

Анализируя статистические данные, следует отметить, что 84% всех атак, зафиксированных за

период пандемии, были спровоцированы именно фишинговыми сайтами. За период 14 дней было зарегистрировано более 30 000 новых доменов, затрагивающих тему коронавируса, из них 1,5% были вредоносными, 9% вызвали подозрение у экспертов.

В условиях пандемии было ограничено время работы торговых центров, поэтому роль интернет-магазинов значительно возросла. За несколько месяцев карантина в онлайн-магазины обратились около 10 млн человек. Большинство из них, по мнению Data Insight, после снятия ограничений продолжают совершать покупки через Интернет [6]. Вместе с этим возросла и активность мошенников в данном сегменте цифровой экономики.



Рис. 3. Актуальные киберугрозы в условиях пандемии COVID-19

Важное значение имеет также использование данных о миллионах людей для управления их поведением, так называемая «игра на страхах». Любое значительное событие, привлекающее внимание большого количества людей, находит свое отражение в социальной инженерии. Это метод получения доступа к конфиденциальной информации, основанный не столько на технических принципах, сколько на особенностях психологии людей. Поэтому во время пандемии коронавируса не появились новые киберугрозы, они просто получили новую «оболочку».

Заключение

Исходя из вышесказанного, можно предложить некоторые рекомендации.

Во-первых, для предотвращения угроз, сопутствующих электронному документообороту, необходимо обеспечить три основных свойства обрабатываемой информации: целостность, доступность и конфиденциальность, использование электронно-цифровой подписи для подтверждения личности отправителя и подлинности передаваемого документа также является одним из возможных решений данной проблемы.

Во-вторых, безопасность дистанционной работы реализуется системами защиты информации (СЗИ), в которых предусмотрено обеспечение удаленного доступа сотрудников к базам данных и программному обеспечению компании.

В-третьих, проблему интернет-мошенничества может решить внедрение так называемой цифровой грамотности пользователей.

Взаимодействие с электронными платежными системами должно подразумевать двухфакторную аутентификацию клиента при каждом входе в систему, а также верификацию и sms-подтверждение банковских операций.

При получении рассылки из банка на электронную почту необходимо обращаться к круглосуточным номерам горячей линии, по которым можно подтвердить факт рассылки.

Итак, угроза – всегда вызов, но не каждый вызов – угроза. При своевременной и адекватной реакции на вызов возможно не только сохранить прежнее положение, но и выйти на новый, более высокий уровень развития.

Пандемия коронавируса как глобальный вызов современности, с одной стороны, ослабила мировую экономику, с другой стороны, дала толчок развитию цифровизации, которую теперь необходимо воспринимать не как дополнительное, а как необходимое условие прогресса.

Как подчеркнул в одном из своих интервью М. Мишустин, «мы все прекрасно понимаем, что будущее – это цифровая экономика, невидимые услуги и простое перемещение товаров с помощью

информационных технологий. Снятие барьеров, соединение заказчика с поставщиком товаров и услуг через цифровые платформы, минуя регуляторы, – это то, что мы должны анализировать и искать новаторские подходы, чтобы необременительно и комфортно встроиться в современные реалии» [7].

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ, проект № FEWM-2020-0036.

Литература

1. Цифровизация и ее место в современном мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gd.ru/articles/10334-tsifrovizatsiya> (дата обращения: 13.09.2020).

2. Понятие угрозы и вызова – Угрозы России XXI в. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://compendium.su/social/11/57.html> (дата обращения: 14.09.2020).

3. Коронавирус ускорил цифровизацию экономики в 10 раз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/technology/characters/2020/04/12/827841-koronavirus-uskoril-tsifrovizatsiyu-ekonomiki> (дата обращения: 15.09.2020).

4. «Лаборатория Касперского» сообщила о росте онлайн-мошенничества во время пандемии [Электронный

ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/4337079> (дата обращения: 16.09.2020).

5. Исследование Херох: 82% сотрудников могут вернуться в офисы через 12–18 месяцев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cnews.ru/news/line/issledovanie_82_sotrudnikov (дата обращения: 17.09.2020).

6. Пандемия ускорила темпы роста российской онлайн-торговли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/business/12/07/2020/5f0850989a794790e959424d> (дата обращения: 18.09.2020).

7. М. Мишустин определил задачи в решении вызовов цифровизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lenta.ru/news/2019/11/20/fns/> (дата обращения: 18.09.2020).

Сидоров Анатолий Анатольевич

Канд. экон. наук, доцент, зав. каф. АОИ ТУСУРа

ORCID: 0000-0002-9236-3639

Эл. почта: anatolii.a.sidorov@tusur.ru

Косенко Екатерина Игоревна

Магистрант каф. АОИ ТУСУРа

Эл. почта: yhgekaterinka-2013@mail.ru

УДК 338.45.01

В.В. Аржанов, К.В. Аржанов, В.В. Безгачева

Цифровая трансформация предприятий Томской области: оценка уровня готовности

Рассмотрена проблематика внедрения цифровых технологий в практику промышленных предприятий Томской области – участников национального проекта «Повышение производительности труда и поддержка занятости». Выявлены общие причины отсутствия возможности цифровой трансформации. Предложена концепция перехода к цифровизации производственной деятельности путем поэтапной оптимизации технологических и бизнес-процессов с точки зрения внедрения технологий бережливого производства.

Ключевые слова: экономика, производительность, цифровизация, автоматизация, промышленность, индустрия 4.0.

Четвёртая промышленная революция (индустрия 4.0), обусловленная применением информационных технологий во всех сферах бизнеса (от производства и продаж до управления предприятием) и переходом к сквозным информационным системам, является жизненно необходимой действительностью в условиях динамически меняющихся рынков и высокого уровня конкуренции, особенно в сфере технологической промышленности. Внедрение современных производственных систем позволяет вывести производство, продажи и управление предприятием на существенно более высокий уровень.

Однако внедрение технических и технологических систем связано не только с высокой себестоимостью внедряемых решений, но и с отсутствием IT-команды на предприятии, осведомленности о новых системах, работающих в смежном секторе промышленности. Кроме того, внедрение цифровых технологий в практику работы производственных предприятий, имеющих многолетний опыт работ в занимаемом сегменте рынка, в значительной степени усложнено отсутствием планов развития с учетом последних тенденций в отрасли.

Современные стратегические приоритеты России в целом соответствуют общемировым тенденциям, связанным с внедрением на производстве систем цифровизации (индустрия 4.0) [1]. Таким образом, экономическое развитие напрямую связывается с трансформацией действующих бизнес-процессов в области внедрения новых технологий (систем автоматизации и цифровизации). При этом значительную роль играет взаимодействие государства и бизнеса.

На концептуальном уровне набирает обороты деятельность по формированию рынков национальной технологической инициативы (НТИ), на практическом же уровне одним из направлений является повышение производительности труда на предприятиях как ключевого фактора экономического роста. При этом можно заметить ярко выраженный разрыв между существующим состоянием развития предприятий различных отраслей (особенно региональных) и идеями, закладываемыми в национальных проектах.

Национальный проект «Повышение производительности труда и поддержка занятости» направлен на поддержку среднего бизнеса. По статистическим данным, до 67% числа средних предприятий находятся в регионах, в том числе в Сибири [2]. В условиях социально-экономической дифференциации и глубокого разрыва между уровнем технической и ресурсной оснащённости предприятий одной из ключевых задач является оценка готовности региональных предприятий к цифровизации производственных и бизнес-процессов.

В статье представлены результаты работы сотрудников регионального центра компетенций Томской области (РЦК) [3] на предприятиях Томской области. Всего охвачено более 20 предприятий из сфер: обрабатывающее производство, сельское хозяйство, транспорт, строительство, ЖКХ. Анализ предприятий показал, что отсутствие целей по развитию предприятия, недостаточная информированность о современных подходах к ведению бизнеса, консервативные взгляды к внедрению новых технологий не позволяют компаниям в полной мере реализовать потенциал возможного роста.

Переход к системам автоматизации, цифровизации и системам планирования производства (ERP) может обеспечить эффективную работу, уменьшение затрат, снижение себестоимости продукции. При этом уровень зрелости к цифровой трансформации на большинстве предприятий остается достаточно низким. Исследование проводится путем непосредственного погружения в практику работы предприятий региона и проведением аудита «проблемных» мест. Попытка поиска проблем путем опроса либо анкетирования показала низкую адекватность оценки текущего состояния предприятия. Ответы на анкету будут иметь положительную характеристику, так как персонал не видит проблемы, а большинство потерь и неэффективных путей работы считаются нормой. Основные шаги для перехода к цифровой трансформации показаны на рис. 1.

По данным международной консалтинговой компании McKinsey, «потенциальный эффект для валового внутреннего продукта (ВВП) России за счет цифровизации экономики к 2025 г. может со-

ставить от 4,1 до 8,9 трлн руб. Потенциальный эффект для ВВП от цифровизации экономики к 2025 г. оценивается в 4,1–8,9 трлн руб., что составит 19–34% от общего увеличения ВВП», данные аналитики представлены на рис. 2 [4].

В повседневной рутинной работе предприятия могут не замечать большое количество мелких нюансов работы, на первый взгляд не влияющих на качество процесса, однако при детальном системном рассмотрении и экономическом расчёте дают достаточно весомые потери. Снижение этих потерь обеспечивает внедрение технологий бережливого производства («бережливого производства» (Lean – prodaction), обеспечивающего минимизацию

времени производства, выстраивание карты производственных процессов, демонстрацию излишних запасов, может стать основой для дальнейшего развития предприятия и перехода к цифровой трансформации [5].

Последовательное детальное рассмотрение практики работы предприятий выявило для многих общие черты: наличие ручного труда требует механизации многих производственных процессов, что ведет к последующей автоматизации. Дальнейшее развитие возможно путем анализа данных обратных связей от ключевых точек производственного процесса и выработки управленческих решений, основанных на данных (цифровая трансформация).

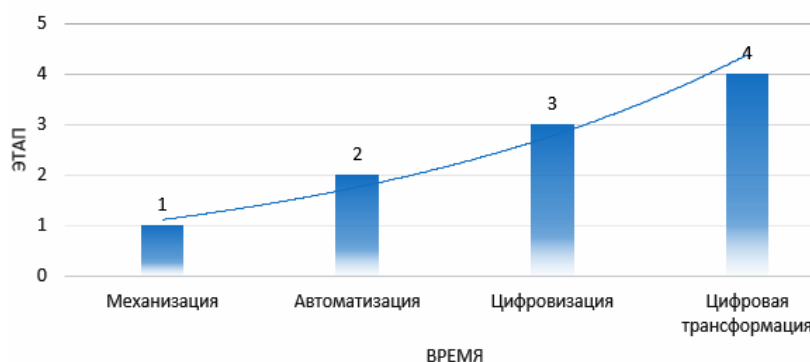


Рис. 1. Модель перехода к цифровой трансформации



Рис. 2. Возможные источники прироста ВВП к 2025 г.

Одной из ключевых проблем, связывающих как производственные, так и бизнес-процессы, является отсутствие современных систем планирования производства ERP-систем. При комплексном изучении структуры предприятия выявляются прямые и косвенные потери, связанные с отсутствием современных систем планирования производства. Расчет загрузки персонала, определение требуемого количества операторов, оценка эффективности загрузки оборудования, оценка излишних запасов – лишь малая часть факторов, влияющих на общую эффективность работы предприятия.

Одним из основных барьеров для внедрения ERP-систем является их стоимость (от нескольких млн руб.); отсутствие у предприятия долгосрочного плана развития с внедрением новых производственных систем и технологий; отсутствие бюджета на техническое обновление промышленного парка; отсутствие собственных специалистов, имеющих высокую квалификацию для возможности самостоятельного внедрения новых технологий и оборудования; низкий уровень осведомленности о трендах технического развития в занимаемой области; наличие кассового разрыва и высокая закредитованность предприятий.

Между тем повышение производительности труда в современных условиях (на основе анализа мирового опыта) невозможно без внедрения цифровизации на производстве, которая, в свою очередь, основывается на механизации, автоматизации, цифровизации, долгосрочной стратегии развития предприятия. Фундаментом для дальнейшей цифровизации может служить реализация мероприятий по «бережливому производству».

Деятельность сотрудников РЦК по оценке возможности внедрения систем и комплексов автоматизации и цифровизации позволяет компаниям – участникам национального проекта получить механизм внедрения современных технологий для повышения эффективности работы предприятия, а ИТ-компаниям на томском рынке – найти заказчиков для дальнейшей совместной работы.

Кроме описанной выше работы, ведется работа с платформой «Профессионалы 4.0». Задача перед исполнителем стоит следующая – обзор лучших мировых практик по внедрению цифровых технологий на предприятиях для дальнейшей реализации. Необходимо учитывать множество факторов для отнесения практики к «лучшим». В первую очередь, это экономический эффект от внедрения технологии, возможность встраивания в существующие бизнес-процессы, сроки окупаемости и др.

Заключение

На основании анализа предприятий сделан вывод о низком уровне готовности к цифровой трансформации. Сделан вывод о целесообразности плавного поэтапного внедрения цифровых технологий в практику работы для уменьшения шокового эффекта от внедрения. Основной требуемой технологией для большинства проанализированных предприятий являются системы планирования производства, однако внедрение данных систем является крайне затратным как по финансовой составляющей, так и по человеко-часовой загрузке персонала, а при отсутствии опытной ИТ-команды специалистов – внедрение подобных систем может оказаться невозможным. Исходя из этого, предложено использовать относительно простые, «коробочные» решения, позволяющие частично автоматизировать текущие процессы с возможностью дальнейшей интеграции в системы управления предприятием. Наличие документационного обеспечения (рабочие стандарты, регламенты, карты потока создания ценности и др.) является обязательным условием для возможности

перехода к работе на более высоком уровне. Таким образом работа регионального центра компетенций является необходимым шагом для дальнейшего развития предприятия.

Литература

1. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». – URL: <http://government.ru/rugovclassifier/614/events/> (дата обращения: 03.09.2020).
2. Статистика МСП. – URL: <https://rcsme.ru/ru/statistics> (дата обращения: 01.09.2020).
3. Национальный проект «Производительность труда и поддержка занятости». – URL: <http://government.ru/rugovclassifier/865/events/> (дата обращения: 05.09.2020).
4. Инновации в России – неисчерпаемый источник роста / Центр по развитию инноваций McKinsey Innovation Practice. – URL: https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Russia/Our%20Insights/Innovations%20in%20Russia/Innovations-in-Russia_web_lq-1.ashx (дата обращения: 05.09.2020).
5. Шилина М.Г. Цифровой бренд-менеджмент территорий в контексте «Экономики 4.0» и национальной стратегии «Цифровая экономика РФ» 2017–2024: новые парадигмы исследования // Цифровой бренд-менеджмент территорий: глобальный и локальный аспекты: матер. IV Междунар. трансдисциплинарной науч.-практ. web-конф. «Connect-Universum–2018», 29–30 ноября 2018 г., Томск, 2019. – С. 212–218.

Аржанов Владимир Викторович

Канд. техн. наук, зав. отд. № 11 Научно-исследовательского института автоматизации и электромеханики (НИИ АЭМ ТУСУРа)
Белинского ул., д. 53, г. Томск, Россия, 643034
Тел.: +7-905-990-08-12
Эл. почта: rbhx@yandex.ru

Аржанов Кирилл Владимирович

Канд. техн. наук, с.н.с. отд. № 11 НИИ АЭМ ТУСУРа
Белинского ул., д. 53, г. Томск, Россия, 643034
Тел.: +7-953-910-80-26
Эл. почта: otdel11tomsk@yandex.ru

Безгачева Вероника Викторовна

Аспирант Национального исследовательского Томского государственного университета
Ленина пр-т, д. 36, Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-999-499-52-39
Эл. почта: nikabezgacheva@mail.ru

Секция 21

RESULTS OF POSTGRADUATE AND MASTER STUDENTS' RESEARCH
IN THE SPHERE OF ELECTRONICS AND CONTROL SYSTEMS

Председатели секции – *Покровская Елена Михайловна*, зав. каф. ИЯ, канд. филос. наук;
Шнит Елена Ирисметовна, ст. преп. каф. ИЯ

UDC 621.396.677.83

A.A. Ivanov

Analytical model for evaluating shielding effectiveness
of an enclosure with a partial dielectric cross-section filling

An analytical model is proposed for evaluating the shielding effectiveness (SE) of a rectangular enclosure with partial dielectric cross-section filling. In this model, the SE is calculated using the equivalent circuit method proposed by Robinson et al. A simple analytical expression based on the percentage of dielectric in the cross-section is used to calculate characteristic impedance and propagation constant of a filled enclosure. Both this model and the finite element method were used to calculate the SE of several test structures, and the results obtained in the range up to 1 GHz are in good agreement.

Key words: electromagnetic shielding, enclosure, equivalent circuits.

Electromagnetic shielding is one of the simplest and most reliable means used to protect radio-electronic equipment against the influence of radiated emissions. At the same time, the design of shielding structures with high shielding effectiveness (SE) is a difficult task. This is due to the fact that the SE value depends on many different factors (electro-physical properties of the shield material, the structure shape and size, the presence of apertures or the internal contents of the enclosure, etc.) [1]. It is obvious that a suitable mathematical tool is required to solve such complex problems.

In most cases, the developers of electromagnetic shields use numerical methods to calculate the SE [2–4]. Such methods are highly accurate and suitable for the analysis of complex and detailed shielding structures. However, they require large computational resources and time costs. For this reason, in the early stages of a shield design, it is advisable to use analytical models [5–7].

This work presents a new analytical model for evaluating the SE of an enclosure with partial dielectric cross-section filling. The model is based on a simple equivalent circuit transformation [5] which has low computational complexity and good accuracy in calculating the SE. It can be used to analyze enclosures filled with arbitrary dielectric contents, such as printed circuit boards, cable connectors, etc.

Theory

According to the model in [5], a rectangular enclosure with an aperture can be replaced by an equivalent circuit in which the incident plane wave is represented

by the voltage source V_0 with the impedance $Z_0=120\pi \Omega$, and the enclosure wall with an aperture is replaced by the impedance Z_{ap} . The enclosure is considered as a short-circuited waveguide with characteristic impedance Z_g and a propagation constant k_g . To calculate the SE, the equivalent circuit is transformed using the Thevenin's theorem and formulas for the input impedance of the transmission line.

To calculate the SE of an enclosure with an arbitrary dielectric filling, it is necessary to replace the short-circuited waveguide with a set of waveguide segments with different Z_g and k_g [8]. Taking into account the dielectric located in the cross-section of the waveguide, Z_g and k_g are determined as [9]

$$Z_g = \frac{Z_0/\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}{\sqrt{1-(\lambda'/2a)^2}}, \quad (1)$$

$$k_g = \frac{2\pi}{\lambda'} \sqrt{1-(\lambda'/2a)^2}, \quad (2)$$

where a is the enclosure width, ϵ_{eff} is the effective value of relative permittivity in the waveguide cross-section, and $\lambda' = \lambda/\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}$ (λ is a free space wavelength).

The ϵ_{eff} value can be calculated using a simple analytical expression based on the percentage of dielectric in the waveguide cross-section [10]. For example, for the structure partially filled with one dielectric material (Fig. 1), the ϵ_{eff} can be calculated as

$$\epsilon_{\text{eff}} = \left(\frac{S_{\text{air}}}{\sqrt{\epsilon_{\text{air}}}} + \frac{S_{\epsilon_r}}{\sqrt{\epsilon_r}} \right)^{-2}, \quad (3)$$

where ϵ_r is the relative permittivity of the filling material, $\epsilon_{\text{air}} = 1$, and S^{air} and S^{ϵ_r} coefficients are defined as the ratio of the filling area to the total area of the waveguide cross-section:

$$S^{\text{air}} = \frac{a(b-h)}{ab} = \frac{b-h}{b}, \quad (4)$$

$$S^{\epsilon_r} = \frac{ah}{ab} = \frac{h}{b}, \quad (5)$$

where h , a and b are the dimensions shown in Fig. 1.

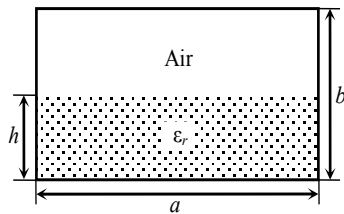


Fig. 1. Cross-section of an enclosure with a partial dielectric filling

Following the procedure from [10], the ϵ_{eff} value can be calculated for an arbitrarily filled cross-section of the enclosure (it is important that expressions (3)–(5) be changed when the ϵ_{eff} is calculated for an arbitrary shaped dielectric or a set of dielectrics). Using this value and (1)–(2) in the enclosure equivalent circuit, the SE can be calculated for a structure with an arbitrary shape dielectric inhomogeneity. Herewith, to calculate the impedance Z_{ap} and to transform the obtained equivalent circuit, it is necessary to use analytical expressions from [5].

Validation of the model

To validate the proposed model, we performed calculations of the SE for the standardized aperture rectangular enclosure with dimensions of $a=d=300$ mm and $b=120$ mm [11]. Two cases were considered. In the first case, the enclosure bottom was completely coated with a dielectric material ($\epsilon_r=3$) 20 mm high (see the structure in Fig. 1). In the second case, two rectangular dielectric obstacles ($\epsilon_r=5$) with a length of 100 mm and a height of 30 mm were located inside the enclosure (the geometry of this structure is shown in Fig. 2).

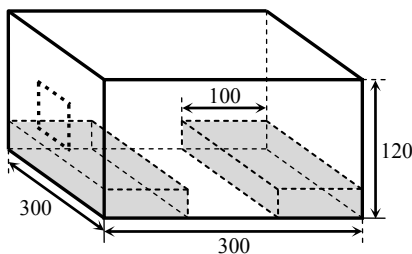


Fig. 2. Geometry of the enclosure populated with two rectangular dielectric obstacles

In both cases, the calculations were performed in the frequency range of 1–1000 MHz at the observation point located in the center of the enclosure. Frequency dependencies of the SE were also obtained by full-wave simulation based on the finite element method (FEM). When calculations were performed by the FEM, adap-

tive mesh refinement was used. The initial number of cells per wavelength was 40, and the mesh refinement percentage did not exceed 30% of the total number of elements at each step.

The SE calculation results for the first case are presented in Fig. 3. It can be seen that the frequency dependencies obtained using the FEM and the proposed model are in good agreement. However, at the frequency of about 1 GHz, the dependence obtained by the FEM shows a more significant resonance. The average value of the absolute error for the results is 4.4 dB.

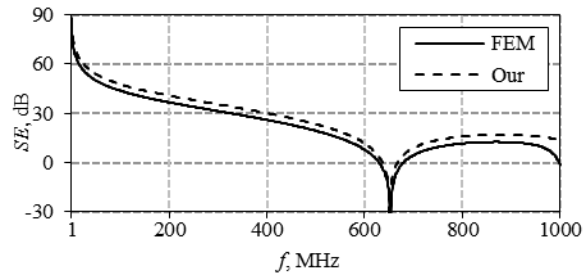


Fig. 3. The SE calculation results for the enclosure with a coated bottom

The results of the SE calculation for the enclosure populated with two rectangular dielectric obstacles are shown in Fig. 4. As can be seen, in this case, the frequency dependencies obtained by the FEM and the proposed model diverge slightly more than for the first structure (Fig. 3). For example, there is a small (about 10 MHz or 1.5%) difference between the first resonant frequencies of the case. In addition, a more significant divergence of the second resonant frequencies is observed (by 26 MHz or 3%). Nevertheless, the average value of the absolute error is lower than for the dependencies in Fig. 3 and is only 3.7 dB.

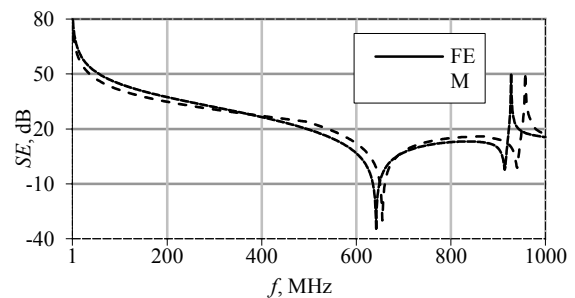


Fig. 4. The SE calculation results for the enclosure populated with two dielectric obstacles

Thus, the results presented in this section prove that the proposed model can be used for evaluating the SE of an enclosure with partial dielectric filling with acceptable accuracy.

Conclusion

A new analytical model has been developed for evaluating the SE of an enclosure with partial dielectric cross-section filling. Its results are in good agreement with the results obtained by the FEM. The model can be applied to enclosures filled with arbitrary shape dielectric contents, such as printed circuit boards, cable connectors, etc. At the same time, the SE calculation by the

analytical model, in contrast to the FEM, takes significantly less time. Thus, the proposed model can be useful in the process of designing modern shielding structures.

Reference

1. On the meaning of enclosure shielding effectiveness / J.F. Dawson, A.C. Marvin, M.P. Robinson et al. // Proceeding of IEEE International symposium on electromagnetic compatibility. – Amsterdam, The Netherland, 2018. – P. 756–751.
2. Araneo R. Fast MoM analysis of the shielding effectiveness of rectangular enclosures with apertures, metal plates, and conducting objects / R. Araneo, G. Lovat // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. – 2009. – Vol. 51, No. 2. – P. 274–283.
3. EMI from cavity modes of shielding enclosures-FDTD modeling and measurements / M. Li, J. Nuebel, J.L. Dreniak et al. // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. – 2000. – Vol. 42, No. 1. – P. 29–38.
4. Gravelle L.B. Finite element method applied to shielding performance of enclosures / L.B. Gravelle, G.I. Costache // Proceeding of IEEE International symposium on electromagnetic compatibility. – Seattle, USA, 1988. – P. 69–72.
5. Analytical formulation for the shielding effectiveness of enclosures with apertures / M.P. Robinson, T.M. Benson, C. Christopoulos et al. // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. – 1998. – Vol. 47, No. 4. – P. 240–248.
6. Aperture excitation of electrically large, lossy cavities / D.A. Hill, M.T. Ma, A.R. Ondrejka et al. // IEEE Transactions on electromagnetic compatibility. – 1994. – Vol. 36, No. 3. – P. 169–178.
7. Solin J.R. Formula for the field excited in a rectangular cavity with a small aperture. / J.R. Solin // IEEE Transaction on electromagnetic compatibility. – 2011. – Vol. 53, No. 1. – P. 82–90.
8. Ivanov A.A. Analytical model for estimating the shielding effectiveness of cylindrical connectors / A.A. Ivanov, M.E. Komnatnov // IOP Conference series: Materials science and engineering. – 2019. – Vol. 560. – P. 1–6.
9. Collin R.E. Field theory of guided waves, Second edition / R.E. Collin. – Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 1991. – 859 p.
10. Osinkina M.E. Some questions of design of printed circuit boards / M.E. Osinkina, V.P. Kismereshkin // Omsk Scientific Bulletin. – 2016. – Vol. 147, No. 5. – P. 115–118.
11. IEEE Std 1597.1–2008. Standard for validation of computational electromagnetics computer modeling and simulation. – IEEE Standard, 2008. – 41 p.

Anton A. Ivanov

Postgraduate student, Department of Television and Control, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7-952-182-01-43
Email: anton.ivvv@gmail.com

UDC 621.391.825

E.B. Chernikova

Modal decomposition of an ultrashort pulse in structures with circular reflection symmetry

The paper considers the protection of radio-electronic equipment (REE) against ultrashort pulses (USPs) by using the symmetry to decompose a USP into a doubled number of pulses with half as small amplitude. For the first time, we performed a quasistatic simulation of the time response of a 4-conductor and 8-conductor MFs with circular reflection symmetry. It is shown that these MFs are able to decompose the USP into a sequence of pulses of smaller amplitude. However, in order to obtain the required attenuation level, additional optimization by several criteria is required.

Keywords: electromagnetic compatibility, protection device, ultrashort pulse, modal filtering, reflection symmetric modal filter

Electromagnetic compatibility (EMC) is becoming increasingly important in the development of radio-electronic equipment (REE). This is due to an increase in the concentration of electrical and electron components on a smaller area, an increase in the upper frequencies of signals, and the improvement of the capabilities of generators of intentional electromagnetic effects. As a consequence, the danger of mutual influence and related disruption of normal functioning of REE increases, which is unacceptable, especially for critical systems. One of the directions of EMC is the protection against conductive interferences, which are electromagnetic noise penetrating into the equipment directly through conductors [1]. A particularly dangerous excitation is a powerful ultrashort pulse (USP) [2].

There are devices that are used to protect against pulse interferences. These include voltage suppressors, arresters, varistors, passive RC- and LC-filters. However, they have a number of disadvantages (susceptibility to radiation, failure to operate at high voltages, insufficient operating speed, etc.), which make it difficult to protect REE against powerful USPs. To solve this problem, a new modal filtration technology was proposed, which is based on the phenomenon of modal pulse decomposition into pulses of smaller amplitude [3]. Modal filters (MF) have a number of advantages: high radiation resistance, durability, operation at high voltages, small dimensions and low cost.

There are various MF structures based on coupled multiconductor transmission lines. Fig. 1, *a* shows the cross-section of the structure of a printed MF [4] with a triangular arrangement of conductors, where conductors 1 and 2 are located on the upper side of the dielectric substrate, and reference conductor 3 is located on the back. This MF is able to decompose a USP into 2 pulses with twice as small the amplitude. A new approach to increase the MF's protection characteristics by means of using reflection symmetry in the cross-section of structures has been proposed [5]. The representative of such structures is a 4-conductor reflection symmetric MF, which is able to decompose a USP into 4 pulses of 4 times smaller amplitude [6]. Its cross-section is shown in Fig. 1, *b*.

Meanwhile, reflection symmetric MFs with circular conductors have not been considered before. At the same

time, it can be assumed that the use of circular symmetry will allow splitting a USP into a doubled number of pulses with a doubled number of conductors in the MF. Thus, the purpose of the work is to investigate the possibility of USP decomposition in structures with reflection circular symmetry.

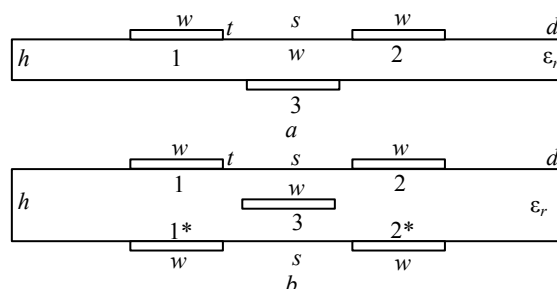


Fig. 1. Cross sections of the 2-conductor (*a*) and reflection symmetric MFs (*b*)

Structures and diagram of the MFs under study

At the first stages of investigating the new structures of multiconductor transmission lines, it is reasonable to use a quasistatic simulation. In this case, only transverse T-wave propagation is allowed. The description of wave processes in the quasistatic approach is based on the telegraphic equations to which Maxwell's equations are reduced. Solving these equations is less expensive, and the accuracy provided by this approach is acceptable even for complex problems [7]. This approach is implemented in the TALGAT software [8].

The simulation algorithm includes:

1. Construction of geometrical models of cross sections.
2. Calculation of matrices of per-unit-length coefficients of electrostatic (**C**) and electromagnetic (**L**) induction.
3. Calculation of matrices of characteristic impedance (**Z**) and per-unit-length delays (τ).
4. Simulation of the schematic diagram; load and excitation determination.
5. Calculation of response.

Losses in conductors and dielectrics have not been taken into account.

For the study, 2 structures consisting of 4 and 8 conductors were selected. Their cross sections are shown in

Fig. 2 (dashed axes of symmetry are marked). The radii of the conductors are 0.4 mm and the dielectrics – 1.6 mm. The relative dielectric permeability (ϵ_r) is equal to 5.

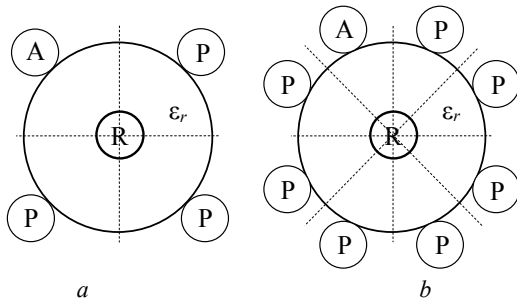


Рис. 2. Cross-sections of the 4 – (a) and 8-conductor – (b) structures with circular reflection symmetry

Fig. 3, a shows the schematic diagram of the 8-conductor structure, and Fig. 3, b shows the 4-conductor one. The line consists of 8 (apart from the reference) conductors of l length equal to 1 m. The values of all resistances R were assumed to be equal to the arithmetic mean value of elements of matrix \mathbf{Z} along the main diagonal. The active conductor is connected at one end with the USP source represented in the diagram by an ideal source of EMF E with an amplitude of 5 V, the lengths of rise, fall and flat top of 10 ps each (Fig. 3, c).

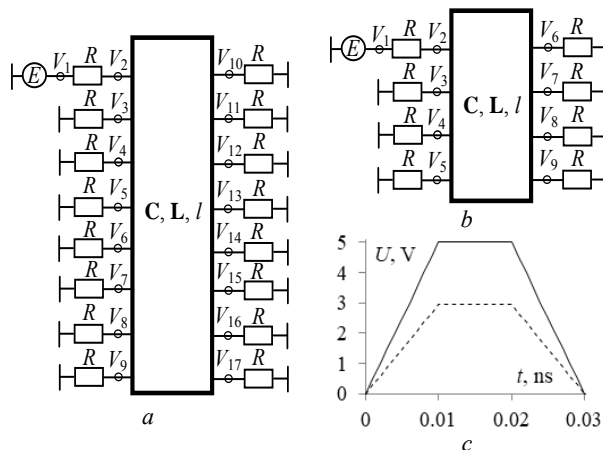


Fig. 3. Schematic diagram of the 8-conductor (a) and 4-conductor (b) structures, EMF waveform of pulse excitation (c)

Simulation results for the 4-conductor structure with circular reflection symmetry

In simulation, segmentation plays an important role. To select its optimal value, we estimated the calculation of matrix τ as well as the value of maximum voltage at the 4-conductor MF output (U_{\max}) obtained at different values of intervals: 100, 200, and 300 (Fig. 4) and then compared the results (Table 1).



Fig. 4. Conductor segmentation: 100 (a), 200 (b) and 300 (c) intervals

Table 1

Selection of segmentation for simulation					
Parameters	τ_1 , ns/m	τ_2 , ns/m	τ_3 , ns/m	τ_4 , ns/m	U_{\max} , V
100 intervals	4.901	4.932	4.666	6.654	0.621
200 intervals	4.922	4.952	4.687	6.666	0.622
300 intervals	4.922	4.952	4.687	6.667	0.622

Table 1 shows that the accuracy of calculating τ and U_{\max} elements at 200 and 300 intervals is the same, i.e. further increase of intervals is senseless. Meanwhile, the simulation with 200-interval segmentation requires less time. Thus, 200 intervals have been selected for the simulation with optimal segmentation.

The results of calculating the time response of the 4-conductor MF with reflection circular symmetry are shown in Fig. 5a. It can be seen that this MF decomposes the USP into 4 pulses with paired amplitudes, as in the original reflection symmetric MF. The attenuation coefficient is 4 ($U_{\max} = 0.622$ V).

Simulation results for the 8-conductor structure with circular reflection symmetry

Further, the 8-conductor MF with reflection circular symmetry was studied. It is based on the above described 4-conductor MF with circular conductors. Fig. 5, b shows the time response at the MF output. Seven decomposition pulses are observed on the obtained voltage waveforms. Meanwhile, Table 2 shows that τ_2 and τ_3 almost coincide differing only by 0.01 ns/m. Therefore, pulses 2 and 3 came practically at the same time, which caused their superposition with amplitude summation. To confirm this assumption, the simulation of the MF with the increased value of l from 1 to 4 m was performed (Fig. 5, c) [9]. As a result, there are 8 pulses with the maximum amplitude of 0.479 V, which is 5.2 times smaller than the amplitude of half the EMF. Thus the first part of hypothesis about the possibility of USP decomposition into a double number of pulses is confirmed. However, in contrast to the 4-conductor reflection symmetric MF, in which attenuation coefficient is equal to 4, the MF under study does not decrease a USP by 8 times. Meanwhile, the maximum amplitude of decomposition pulses at attenuation coefficient 8 should be equal to 0.3125 V. In the time response (Fig. 5, c), 4 pulses with such amplitude are observed, 3 more pulses have an amplitude less than this value, and the maximum amplitude is only 1.5 times greater, which is natural due to the mismatch of modes and can be eliminated by optimization.

Conclusion

Thus, the possibility of USP decomposition in structures with circular reflection symmetry is considered. The results of simulating the 4-conductor and 8-conductor MFs are presented. It is shown that these structures are capable of decomposing a USP into pulses of smaller amplitude with attenuation coefficients of 4 and 5.2 (at $l=4$ m) times, respectively. Meanwhile, the required attenuation level (by 8 times) could not be achieved only by transition from 4 to 8 conductors. But it is obvious that this can be done by optimization.

In the future, we are planning to optimize these structures according to the criteria of minimizing the output voltage amplitude, as well as ensuring the matching.

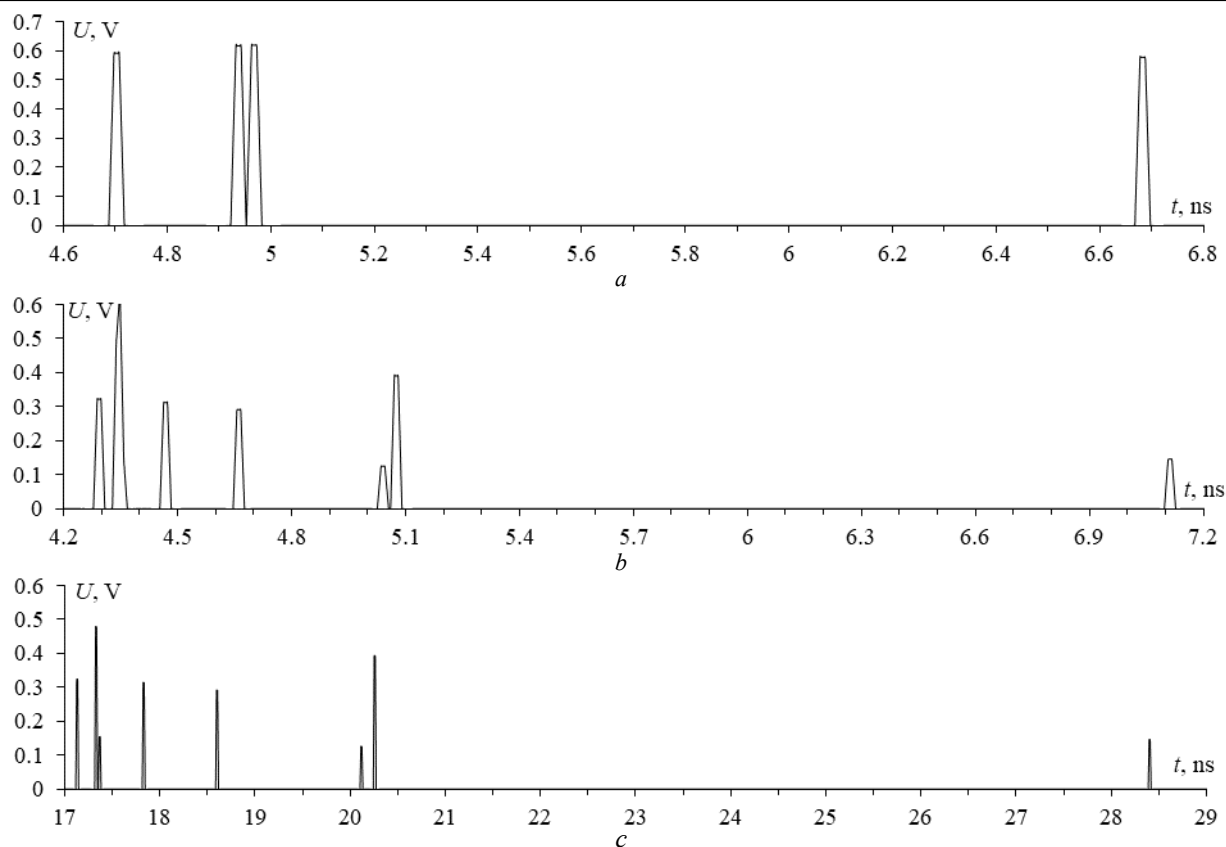


Fig. 5. Voltage waveforms at the output of the 4-conductor (a) and 8-conductor circular MF for $l=1 m$ (b) and $l=4 m$ (c)

Table 2

Simulation results of the 8-conductor MF

Parameters	$\tau_1, ns/m$	$\tau_2, ns/m$	$\tau_3, ns/m$	$\tau_4, ns/m$	$\tau_5, ns/m$	$\tau_6, ns/m$	$\tau_7, ns/m$	$\tau_8, ns/m$	U_{max}, V
$l=1 m$	4.278	4.328	4.337	4.453	4.646	5.025	5.060	7.097	0.634
$l=4 m$	17.114	17.313	17.351	17.813	18.584	20.102	20.242	28.388	0.479

Due to the peculiarities of USP decomposition in reflection symmetric structures, it is believed that this is possible, first of all, by equalizing the pulse amplitudes at the MF output.

The reported study was funded by RFBR, project number 19-37-51017.

References

- Gizatullin Z.M., Gizatullin R.M. Investigation of the immunity of computer equipment to the power-line electromagnetic interference // J. of Communications Technology and Electronics. – 2016. – No. 5. – P. 546–550.
- Mora N., Vega F., Lugrin G., Rachidi F., Rubinstein M. Study and classification of potential IEMI sources. System and assessment notes. – 2014. – No. 41. – 92 p.
- Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.R. UWB pulse decomposition in simple printed structures. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, No. 4. – P. 1136–1142.
- Samotin I.E. Condition for equalizing the amplitudes of pulses at the output of the modal filter // EMC technolog. – 2010. – No. 4(35). – P. 31–34.
- Chernikova E.B., Belousov A.O., Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. Using reflection symmetry to improve the protection of radio-electronic equipment from ultrashort pulses // Symmetry. – 2019. – Vol. 11 (7), No. 883. – P. 1–25.

- Zabolotsky A.M. Application of reflective symmetry for modal filtration improvement // Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, – 2015. – Vol. 36, No. 2. – P. 41–44.

- Orlov P.E., Buichkin E.N. Quasistatic and electromagnetic simulation of interconnects of printed circuit boards with modal reservation // 18th International Conference of Young Specialists on Micro: Nanotechnologies and Electron Devices, Erlagol, Altai, June 29–July 3. – 2017. – P. 54–58.

- Kuksenko S.P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – Vol. 560, No. 012110. – P. 1–7.

- Chernikova E.B., Belousov A.O. Method for detecting additional pulses in the time response of structures with modal decomposition // 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Russia, Tomsk, Oct. 23–24. – 2019. – P. 0245–0249.

Evgeniya B. Chernikova

Postgraduate student, Department of Television and Control, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
 ORCID: 0000-0003-1964-7616
 Phone: +7-923-407-47-23
 Email: chiernikova96@mail.ru

UDC 004.422.83

A.A. Kvasnikov

Analytical report generation module of the EMC simulation software

This paper describes the process of developing the analytical report generation module of the EMC simulation environment and presents the results of creating the prototype. The developed module was implemented and tested in the TALGAT software.

Keywords: graphical user interface, electromagnetic compatibility, Qt, TALGAT.

Ensuring electromagnetic compatibility (EMC) is an important task in the development of radioelectronic equipment. This task is usually associated with expensive and time-consuming tests. Therefore, it is advisable to take EMC into account at the design stage by simulating it with specialized software. Modern trends in software development in this area encourage developers to introduce various analytical tools and elements of expert systems (ES) into a software product.

The use of modern computer technologies makes it possible to develop ESs that contain a database (DB) of large data volumes with the possibility of their expansion and backup. In addition, when solving EMC problems, ESs rely only on embedded mathematical models, algorithms, and knowledge bases, which give more objective results, and therefore the possibility of errors is extremely small.

Domestic software TALGAT is one of the products that can solve a wide range of EMC-related problems; however, analytical support and reference data are very limited [1]. A detailed analysis of the system revealed that when users utilize the DB module of signals affecting power supply network, they may encounter difficulties due to the need to re-run the simulation process, as well as the need to manually group and analyze the simulation results [2].

The aim of this work is to design and develop the analytical report generation module of the EMC simulation software and implement it in the TALGAT system.

Module development

In the development process, the programming languages C++ and Python were used, as well as the Qt framework since the TALGAT system is based on the use of these tools and includes the Python interpreter. The C++ language was used to create the internal structure of the module in the core of the TALGAT system. The graphical user interface was created using the **Qt Widgets technology** of the Qt framework. A distinctive feature of this module is the fact that when the module is running, it generates a code in Python, which is then executed by the system itself. This allows more experienced users of the TALGAT system to make their own changes to the design of the resulting code.

The main purpose of the developed module is to identify potential vulnerabilities of the power supply network when it is exposed to dangerous interference signals. The identification process is based on calculating the normalization response parameters [3]. To ana-

lyze the user-defined topology, the module uses the norms N_1-N_5 and 10 signals of the DB subsystem. Switching to the module operation mode is available by clicking the «Generate report» flag in the time analysis settings menu. Figure 1 shows the block diagram of the module operation algorithm.

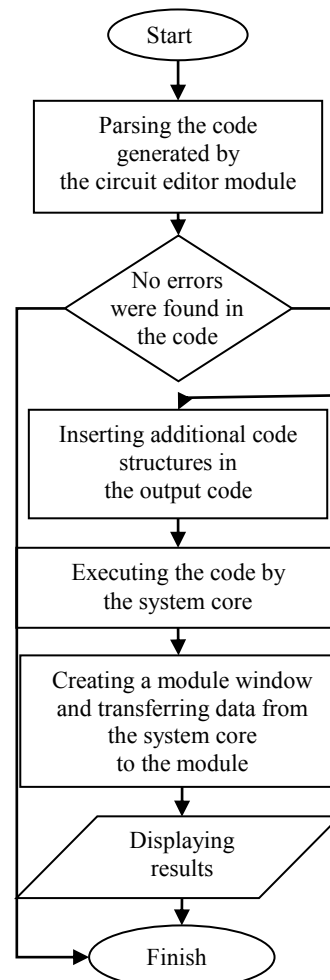


Fig. 1. Block diagram of the analytical report generation module operation

The stages of the module operation are detailed below. At the first stage, the developed functions in the TALGAT system core generate circuit code in Python. In fact, a function written in C++ creates the code written in another language. After that, the module parses the code to find the entry points for new parts of the

code. Then, it checks whether the entry points and keywords are found. If they are not found, the module stops working and displays an information window with an error message. If the module does not find any errors, the module functions start processing the code structure. The resulting code is displayed as a text in the system editor interface window. This is necessary in order to ensure transparency of the module and allow users to make changes or improve the code. The resulting code is a combination of functions, conditions, loops and vector operations. The system executing the created code automatically calculates the responses of the user topology to the effect of 10 interference signals implemented in the DB. After that, the data is passed to the module. The module calculates 5 norm values for each of the signals in each topology segment. Then, the segments of the structure where the norm values are maximal are determined. After that, the maximum value of the voltage in the response for this segment is determined, which is normalized relative to the maximum value of the input signal voltage.

As a result, the system creates a graphical window of the module containing analytical information (Fig. 2).

Signals	Norm 1	Norm 2	Norm 3	Norm 4	Norm 5	lax input voltage
2 FID_FPG30-1KM	1.087V seg...	1.087V seg...	0.939V seg...	0.939V seg...	0.939V seg...	11069.9
3 GaAs_Source	1.000V seg...	1.000V seg...	1.000V seg...	1.000V seg...	1.000V seg...	35262.4
4 HVPS_pulser	1.238V seg...	0.988V seg...	1.243V seg...	1.243V seg...	1.238V seg...	2018.42
5 HVPS_SOURCE	2.426V seg...	0.70V seg...	0.40V seg...	1.243V seg...	0.85V seg...	85.6429
6 Krzikalla_et_al	1.449V seg...	1.205V seg...	1.153V seg...	1.153V seg...	1.331V seg...	241.532
7 Nyffeler_et_al	1.218V seg...	1.035V seg...	0.993V seg...	0.993V seg...	1.206V seg...	498.553
8 P.S_PGS-402	0.463V seg...	0.355V seg...	0.450V seg...	0.380V seg...	0.380V seg...	423.403
9 Parfenov_et_al	1.000V seg...	1.000V seg...	1.000V seg...	1.000V seg...	1.000V seg...	112.611
11 STUN GUN	0.981V seg...	0.836V seg...	0.755V seg...	0.717V seg...	0.717V seg...	351.527

Fig. 2. Main window of the analytical report generation module

The results are displayed in the central table of the module window. The table contains information about the number of the transmission line and the number of the segment containing the maximum value of the N-norm. Depending on the normalized maximum voltage value, the background color of the corresponding table cells changes (from green to dark red), indicating the most vulnerable parts of the topology. The table on the right shows the maximum voltage of the input signal and the names of the signals from the DB. When the user clicks on the table cells in the lower part of the window, the module displays portraits of N-norms normalized relative to the N_1-N_5 values of the input interference signal. This allows the user to examine in detail the vulnerable nodes of the user-defined topology. Fig. 3 shows a graphical representation of the norm N_1 relative values. It is also worth noting that if you expand the signal database, the number of signals used in the module also increases.



Fig. 3. Example of using the graphical display of relative norm values

Conclusion

Thus, the developed module can be used to collect, transform and provide information received from the TALGAT system in an analytical form. In the future, it is planned to improve the module by implementing a knowledge base (in the form of rules), which will provide the user with additional information about changes that can be made to the analyzed structure. However, even in its current form, this tool can be used for research purposes.

The research was carried out at the expense of the Fund for Assistance to Small Innovative Enterprises grant number №14877GU/2019 of the «UMNIK-2019» program at TUSUR University.

References

1. Kuksenko S.P. New features of the TALGAT EMC simulation system / S.P. Kuksenko, A.M. Zabolotsky, A.O. Melkozerov, T.R. Gazizov // Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. – 2015. – Vol. 36, No. 2. – P. 45–50 (in Russ.).
2. Kvasnikov A.A. Development of a database of interfering signals of the electromagnetic compatibility analysis system // Materials of the All International Scientific Technical Conference of Students, PhD Students and Young Scientists, Tomsk, 16–18 May 2018. – Tomsk: V-Spectr, 2018. – P. 266–269 (in Russ.).
3. Qt Documentation [Electronic resource]. – Access mode: <https://doc.qt.io/> (accessed: 11.08.2020).

Aleksey A. Kvasnikov

PhD student, Department of Television and Control, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
 ORCID: 0000-0001-7000-956X
 Phone: +7-923-433-34-41
 Email: aleksejkvasnikov@gmail.com

UDC 539.22/23

A.V. Nikonenko, I.A. Kurzina, E.M. Oks

Dependence of an average UFG titanium grain size on processing temperature

Receipts of titanium in various structural states were obtained by different annealing processes. Three annealing schemes were carried out. To establish a pattern of grain growth of samples of alloy VT1-0, the scheme of annealing 3 (the temperature range of 300–550 °C) was considered in more detail. The grain structure was studied using the TEM method.

Keywords: implantation, radiation dose, titanium, aluminum, grain size

Titanium as a structural material in an ultrafine-grained (UFG) state is characterized by high mechanical strength, corrosion resistance, low density, and heat resistance [1]. Titanium obtained by the method of severe plastic deformation occupies a leading place among UFG materials.

The purpose of this work is to conduct a comparative analysis of the effect the temperature of processing the UFG titanium samples has on the average grain size.

Materials and research methods

The object of the study was titanium samples with different average grain sizes of grade VT1-0 obtained by abc-pressing technique in combination with rolling in grooved rolls and subjected to additional annealing [2]. The number of pressing (sediment) cycles was three. The pressing temperature at each cycle remained constant but during the transition from the previous pressing to the next, it decreased stepwise in the range of 500–400 K. At each subsequent pressing cycle, the sample was turned by 90°. The deformation rate during pressing was 10^{-2} – 10^{-1} s⁻¹. After the pressing stage, the titanium billets were deformed by multi-pass rolling in grooved rolls at room temperature. After rolling, the titanium samples had the shape of rods with a square cross-section of 6 mm and a length of 500 mm. To increase the plasticity, the rolled UFG titanium rods were annealed at a temperature of 573 K [3, 4]. The grain structure was studied using an EM-125K transmission electron microscope at an accelerating voltage of 120 kV.

Results

Three schemes were used to obtain titanium in various structural states.

The first scheme was used to anneal the initial titanium samples in the nanocrystalline state at temperatures in the range of 200–500 °C. Annealing in this scheme (Scheme 1) did not lead to a noticeable change in the nature of the microstructure. All features of the microstructure characteristic of the nanocrystalline state of titanium were retained. An insignificant increase in the characteristic size of structural elements to 0.1 μm was observed after annealing at 350 °C.

In the case of the second scheme, samples of submicrocrystalline titanium obtained by pressing with $e = 2.12$ were annealed at a temperature of 300 °C and subsequent annealing in the temperature range of 500–800 °C. In this mode, an increase in the annealing tem-

perature led to a significant change in the titanium microstructure. Sufficiently clear grain boundaries with an equiaxed shape appeared. Thus, at an annealing temperature of 500 °C, the average grain size was 1.4 μm. A significant increase in the grain size was observed at annealing temperatures in the range of 600–800 °C. In particular, after annealing at 800 °C, the material had a grain structure with an average grain size of up to 15 μm.

According to the third scheme, we used samples of submicrocrystalline titanium obtained according to the second scheme with $e = 6.12$. The samples were annealed at temperatures of 650–1200 °C. For a more detailed study, we considered annealing at temperatures of 300–550 °C. All annealing procedures were performed for 1 hour and at 450 °C for 2 hours. The annealing made it possible to obtain titanium in various structural states with grain sizes in the range of 0.13–5 μm.

Figure 1 shows the dependence of the average transverse size of structure elements on the annealing temperature (three annealing schemes) taking into account the previously obtained data. All data, irrespective of the annealing schemes, fit on one curve with good accuracy. It can be seen that the grain size increases with an increase in the annealing temperature. The submicrocrystalline state of titanium (up to an average size of 200 nm) is retained up to annealing temperatures, including 450 °C.

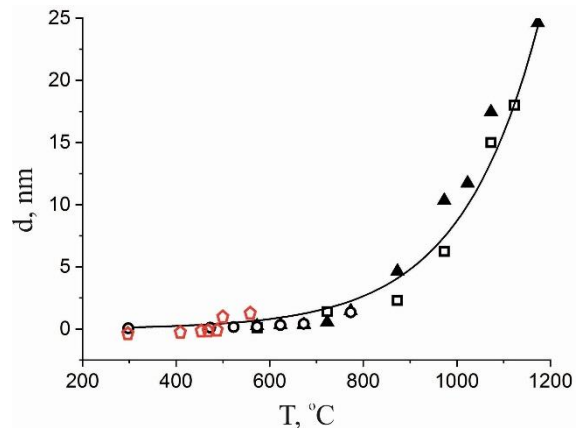


Fig. 1. Dependence of the average grain size of the starting titanium on the annealing temperature. Annealing schemes: 1 – (○), 2 – (□), 3 – (▲, ◈)

Table 1 shows the structural characteristics of the titanium samples obtained by the third annealing scheme at temperatures of 300–550 °C.

Table 1
Characteristics of titanium samples

Symbols	Conditions of receipt		Grain size \bar{d} , μm	L , μm	
	T, C annealing	time, h			
Annealing Scheme 3	Ti _{исх}	original	1	0.13	0.79
	Ti _{0.13}	300	1	0.13	0.53
	Ti _{0.16}	400	1	0.16	0.17
	Ti _{0.2}	450	1	0.21	0.36
	Ti _{0.3}	450	2	0.30	0.35
	Ti _{0.6}	470	1	0.60	0.66
	Ti _{1.3}	500	1	1.34	2.27
	Ti _{2.3}	550	1	2.27	3.15
Polycrystalline alloy VT1-0	alloy VT1-0		38		

The revealed dependence of the average grain size on the annealing temperature is exponential ($\bar{d} = 0.0021 \exp(0.0082 T)$). Four linear sections can be extended on the curve:

- 1) in the grain interval 0.06–0.2 μm – nano- and submicrocrystalline state;
- 2) 0.2–1 micron – ultrafine-grained;
- 3) 1–10 microns – fine-grained;
- 4) 10–25 microns – polycrystalline.

It should be noted that a significant increase in the grain size and the appearance of clearer grain boundaries were observed during the annealing type according to scheme 3. It can be seen from the figure that for the materials under study there is a strong change in the grain size in the region up to 2 μm. A significant fraction of interfaces corresponds to a grain size of $d < 1$ μm, and at $d < 100$ nm; the fraction of interfaces is already several tens of a percent, and in this nanointerval the fraction of triple joints grows rapidly.

It can also be noted that for all three annealing schemes, the same dependence of the grain size growth was observed, which can be seen in Fig. 1.

Conclusion

As a result of the studies, a comparative analysis of titanium samples obtained using different annealing schemes was carried out; annealing scheme 3 was considered in more detail. It was found that for the materials under study, a strong change in the grain size is observed in the region of up to 2 μm. A significant proportion of interfaces corresponds to a grain size $d < 1$ μm,

and at $d < 100$ nm, the proportion of interfaces is already several tens of a percent. It was found that the curves for all annealing schemes are superimposed on each other, i.e. the same pattern of grain size growth is observed for all three types of annealing.

The work was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research No. 19-08-01041.

References

1. Tsiganov I., Wieser E., Matz W., Mücklich A., Reuther H., Pham M.T., Richter E. Phase formation in aluminium implanted titanium and the correlated modification of mechanical and corrosion properties. *Thin Solid Films.* – 2000. – Vol. 376. – P. 188–197.
2. Eroshenko A., Sharkeev U., Tolmachev A., Korobitsyn G., Danilov V. Structure and properties of bulk ultrafine titanium obtained by abc-pressing and rolling // *Forward looking material.* – 2009. – No. S7. – P. 107–112 (in Russ.).
3. Sharkeev U., Eroshenko A., Bratchikov A., Legostayeva E., Kukareko V. Structure and mechanical properties of nanostructured titanium after pre-reconsolidation annealing // *Physical mesomechanics.* – 2005. – No. S. – P. 91–94 (in Russ.).
4. Fedorisheva M.V., Kalashnikov M.P., Nikonenko A.V., Bozhko I.A. The structure – phase state and microhardness of the surface layer of the VT1-0 titanium alloys treated by copper ions // *Vacuum.* – 2018. – No. 149. – P. 150–155.

Alisa V. Nikonenko

PhD student, Physics Department, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7-953-917-13-04
Email: aliska-nik@mail.ru

Irina A. Kurzina

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Assistant Professor Tomsk State University (TSU)
36, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7-953-917-13-04
Email: kurzina99@mail.ru

Efim M. Oks

Doctor of Engineering Science, Professor,
Physics Department, TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7-953-917-13-04
Email: oks@opee.hcei.tsc.ru

UDC 004.021

M.B. Bardamova

Binarization of the Shuffled frog leaping algorithm for feature selection in fuzzy classifiers

Feature selection is an important step in constructing any classifier. Binary versions of metaheuristic optimization algorithms are often used for selection. However, many metaheuristics are originally created to work in the continuous search space, so they need to be specially adapted to the binary space. In this paper, we propose fifteen ways to binarize the Shuffled frog leaping algorithm based on three methods: modified algebraic operations, a merge operation, and transformation functions. The efficiency of the binary algorithm was tested in the problem of feature selection for fuzzy classifiers on data sets from the KEEL repository. The results show that all the described methods of binarization allow reducing the features, while increasing the overall accuracy of classification.

Keywords: fuzzy classifier, shuffled frog leaping algorithm, fuzzy selection, transfer functions.

The feature selection in machine learning is an effective tool for reducing the complexity of a model. Removing redundant features helps reduce over-training. Excluding noise attributes can improve the quality of prediction. In addition, the selection of the most informative variables allows gaining new knowledge about the problem being investigated, so selection with intelligent algorithms is often considered as a research tool.

There are two main strategies for feature selection: filtering and wrapping. Filters evaluate the relationship between features and an output variable by, for example, measuring mutual information or calculating the correlation coefficient. Such algorithms are used independently of the classifier, so they have a rather low efficiency. Wrappers, on the other hand, function in conjunction with the decision algorithm. They select the most informative subsets of prizes based on the quality of the resulting models. This allows them to find the feature sets that are most important for the classifier used.

Metaheuristics are often used as wrappers. However, this class of algorithms is often developed for optimization in continuous space. In this paper we will discuss ways to adapt the Shuffled frog leaping algorithm to a binary space in order to select features in fuzzy classifiers.

Shuffled frog leaping algorithm (SFLA)

The population of vectors in this metaheuristics imitates the social behavior of frogs searching for food [1]. It is assumed that the population is divided into smaller groups, each of which has its own local leader. This is a frog that has managed to find the most successful place with food. The other frogs in the group move in the direction of their leader. In parallel, there is an exchange of information between groups, the selection of the most successful one among the leaders, and the gradual movement of the entire population to the global leader.

The algorithm has a quite small number of parameters. It is necessary to set the number of groups G , the number of frogs in each group F , a constant for updating input vectors c , and the number of iterations for global and local search T_{gl} and T_{lc} , respectively.

The sequence of steps in the continuous algorithm is as follows. In addition to the parameters, the algorithm is fed with a population of input vectors $\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_0, \dots, \mathbf{x}_{N-1}\}$.

The population size is set as $N = F \times G$. The value of the objective function $\text{fit}(\mathbf{x}_i)$, $i \in [0, N)$, is evaluated for all vectors. Next, the population is sorted in the descending order of the value of the objective function and divided into G groups of F vectors as follows: \mathbf{x}_0 falls into the first sub-group, \mathbf{x}_1 falls into the second sub-group, the vector \mathbf{x}_{G+1} falls into the group with the number G , \mathbf{x}_{G+2} falls into the first group, and so on.

A local search is performed within each group. Local search in a group consists of iterating through three stages. At the first stage, a temporary vector **New** is generated:

$$\mathbf{New} = r \times c \times (\mathbf{best}(t) - \mathbf{worst}(t)) + \mathbf{worst}(t), \quad (1)$$

where r is a random number between 0 and 1, $\mathbf{best}(t)$ and $\mathbf{worst}(t)$ are vectors with the best and worst fitness function in the group on iteration t , $t \in [0, T_{lc})$. If the condition $\text{fit}(\mathbf{New}) \geq \text{fit}(\mathbf{worst}(t))$ is met, then the temporary vector is written to $\mathbf{worst}(t)$. Otherwise, the transition to the second stage is performed.

In the second stage, **New** is re-generated, but instead of $\mathbf{best}(t)$, the globally best vector \mathbf{x}_0 is used. If in this case the condition $\text{fit}(\mathbf{New}) \geq \text{fit}(\mathbf{worst}(t))$ is not met, then at the third stage, a vector is created randomly in place of $\mathbf{worst}(t)$.

When the specified number of local iterations T_{gl} is completed in all groups, the population is combined, and the entire process is repeated again from sorting. The algorithm stops when the T_{lc} is reached.

Binarization of the Shuffled frog leaping algorithm

Variants of SFLA binarization in the literature are usually lead down to its combination with the most well-known metaheuristics, for example, the particle swarm optimization algorithm and the genetic algorithm. In [2], instead of using the operator (1), a continuous velocity vector is calculated for the worst frog in the group. The calculation formula is rather difficult and uses a big number of parameters. Next, the velocity vector is converted to a binary equivalent using a threshold, and replaces the worst frog if the objective function improves. Otherwise, mutation and crossover operations are applied to the same frog in stages. Due to the complexity of calculations, the algorithm loses its advantages: fast operation speed and computational simplicity.

We offer simpler ways to binarize SFLA to preserve its advantages. All methods accept a population of randomly generated binary vectors as input.

The method of modified algebraic operations

The idea of the method is to convert the algorithm to the binary version. It is enough to put their logical analogues in accordance with the original mathematical operations of the formulas used, for example, to use disjunction (\vee) instead of addition, and conjunction (\wedge) instead of multiplication.

Thus, (1) can be changed as follows:

$$\mathbf{New} = \mathbf{r} \wedge (\mathbf{best}(t) \oplus \mathbf{worst}(t)) \vee \mathbf{worst}(t), \quad (2)$$

where \mathbf{r} is a random binary vector, and the \oplus symbol indicates a strict disjunction operation that is a substitute for subtraction.

The merge procedure

When using this method, (1) is replaced by the operation of merging two vectors: the worst frog in the group and the local or global leader, depending on the local search stage. The merge operation is as follows. Elements of two input vectors are compared element by element. If two elements at the same position are the same, the value of these elements will be written in the resulting vector at this position. If the elements are different, a random number is generated. If it is less than or equal to 0.5, then the element from the worst frog is written to the corresponding position of the new vector. Otherwise, an element from the best vector will be placed in this place [3].

A combination of the modified arithmetic operations method and the merge procedure

When combining the two previously described binarization methods, first the vector \mathbf{New} is generated based on (2), then \mathbf{New} and $\mathbf{worst}(t)$ are fed to the input of the merge operation.

Transformation functions

Some metaheuristics are not able to handle binary vectors directly. In this case, transformation functions are often used to switch from a continuous space to a binary one. They transform a real number into the range between zero and one. If the calculated function value is greater than a random number, then the corresponding element of the vector either takes the value of one, or is replaced with the opposite [4].

In this paper, three transformation functions were tested. The first function belongs to the S-shaped family and is defined by the following formula:

$$F1(z) = 1 / (1 + e^{-z}), \quad (3)$$

where z is some input real number.

The second one is calculated using the hyperbolic tangent and belongs to the number of V-shaped functions:

$$F2(z) = |\tanh(z)|. \quad (4)$$

The third function belongs to the same family:

$$F3(z) = \left| z / \sqrt{1 + z^2} \right|. \quad (5)$$

To update elements in the binary feature vector, we will use two rules. The first one explicitly sets the binary value of the element:

$$\text{IF } \text{rand}(0,1) < F(z), \text{ then } x^d = 1, \text{ else } x^d = 0, \quad (6)$$

where $F(z)$ is one of the three transformation functions, and d is a position number of the element in the vector \mathbf{x} . In the second rule, the element either changes to the opposite, or remains the same:

$$\text{IF } \text{rand}(0,1) < F(z), \text{ then } x^d = x^d \oplus 1. \quad (7)$$

To use the described method in SFLA, instead of (1), the velocity vector calculation is introduced as follows:

$$\mathbf{V} = (\mathbf{x}_0 - \mathbf{worst}(t)) \cdot \mathbf{r}_1 + (\mathbf{best}(t) - \mathbf{worst}(t)) \cdot \mathbf{r}_2, \quad (8)$$

where r_1 and r_2 are continuous vectors filled with random real values in the range from 0 to 1. Then the vector \mathbf{V} is fed to the input of one of the three transformation functions. The result of applying the transformation function and one of the two rules for updating elements is written to the $\mathbf{worst}(t)$ vector if the fitness function improves. Otherwise, a vector is randomly generated in place of $\mathbf{worst}(t)$.

Combination of transformation function and merge procedure

If the target function of the vector created after applying the transformation function does not exceed the value of the target function of the worst vector, then the transition to the second stage of local search is performed. In the second stage, the previously obtained vector passes through the merge operation with the global leader \mathbf{x}_0 . If it does not improve the worst vector, then random generation is performed.

The experiment

A fuzzy classifier was used as the decision algorithm. The classifier structure was generated by an algorithm based on extreme values of classes [5]. Triangular membership functions were chosen as terms.

Data sets from the KEEL open repository were used in the experiment (keel.es). The sets are described in Table 1.

The experiment was conducted according to the ten-fold cross-validation scheme: each set was divided into ten training and test samples in the ratio of 9:1. The test samples were formed in such a way that new data instances were used in each of them.

The parameters of the SFLA are as follows: four groups, each of which has 10 vectors; 5 local iterations, and 30 global iterations. The methods are selected empirically as the most universal.

Table 2 shows the list of binarization methods used in SFLA and their number.

Table 3 shows the resulting classification accuracy when constructed on selected subsets of features. For comparison, the results of constructing a fuzzy classifier using the algorithm for extreme class values without feature selection (column AEVC) are presented. The last row of the table shows the average values of classification accuracy for all data sets.

Compared to the average accuracy obtained without feature selection, all binarization methods improved the quality of classification. The best results were obtained by SFLA using the following methods: transformation function (5) with rule (7), transformation function (4)

with rule (7) in combination with the merge operation, and the merge procedure separately.

Table 3 shows the number of variables remaining in the dataset after feature selection averaged over ten samples. Different samples may have a different number of features, so the numbers in the table can take fractional values. Column F shows the initial number of variables in the data set before the selection. In the last row of Table 3, the average values of the number of features selected using SFLA are calculated.

Table 1

Data set parameters				
Data set	Abbr.	Features	Instances	Classes
magic	mgc	10	19020	2
wine	wn	13	178	3
heart	hrt	13	270	2
cleveland	clv	13	297	5
vowel	vwl	13	990	11
penbased	pnb	16	10992	10
vehicle	vhc	18	846	4
hepatitis	hpt	19	80	2
segment	sgm	19	2310	7
ring	rng	20	7400	2
twonorm	twn	20	7400	2
thyroid	thr	21	7200	3
wdbc	wdbc	30	569	2
ionosphere	ion	33	351	2
dermatology	drm	34	358	6
satimage	stm	36	6435	7
spectfheart	spc	44	267	2
spambase	spm	57	4597	2
sonar	snr	60	208	2
optdigits	optd	64	5620	10
coil2000	cl2000	85	9822	2

Table 2

Methods of binarization	
Number	Method
1	Modified algebraic operations
2	The merger procedure
3	Modified algebraic operations + merge procedure
4	Transformation function (3) + Rule (6)
5	Transformation function (4) + Rule (6)
6	Transformation function (5) + Rule (6)
7	Transformation function (3) + Rule (7)
8	Transformation function (4) + Rule (7)
9	Transformation function (5) + Rule (7)
10	Transformation function (3) + Rule (6) + Merge
11	Transformation function (4) + Rule (6) + Merge
12	Transformation function (5) + Rule (6) + Merge
13	Transformation function (3) + Rule (7) + Merge
14	Transformation function (4) + Rule (7) + Merge
15	Transformation function (5) + Rule (7) + Merge

The best ability to select features with the SFLA shows the following methods: transformation function (4) with rule (6) and merge operation, transformation function (5) with rule (6) and merge procedure, as well as modified algebraic operations in combination with the merge operation.

Conclusion

In this paper, we tested the effectiveness of fifteen binarization methods for the jumping frog algorithm. All methods are computationally simple, so the speed of the algorithm is quite high. SFLA showed the highest speed, 5.3 seconds, when using the transformation function (4) with rule (7). SFLA worked longest when combining the transformation function (4) with rule (6) and the merge operation; this method worked in 9 seconds on average.

Table 3

Classification accuracy averaged over ten test samples after feature selection																
Data set	AEVC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
mgc	71.9	71.8	72.1	73.1	72.7	73.1	72.8	71.9	72.1	72.3	72.4	73.1	73.1	72.1	72.2	71.8
wn	88.1	92.1	93.2	93.8	92.7	93.8	93.2	92.1	92.6	93.2	93.2	92.6	92.6	94.4	92.1	92.1
hrt	71.5	66.3	66.7	66.7	66.3	66.3	66.7	65.6	65.6	66.3	66.3	65.6	65.6	65.6	66.7	65.9
clv	45.2	53.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.5	54.2	54.5	54.5	54.5	54.5	53.9	54.2
vwl	43.8	47.8	47.9	47.4	47.5	45.9	47.5	46.7	47.9	47.6	47.9	47.6	47.1	47.6	47.6	47.6
pnb	56.7	57.7	57.7	56.9	57.5	56.8	56.7	56.8	57.7	57.7	57.3	57.2	56.7	57.0	57.6	57.7
vhc	30.4	38.8	46.3	42.2	41.1	43.0	40.0	41.3	45.3	45.3	42.8	44.2	44.7	42.4	45.4	45.9
hpt	83.4	80.3	78.1	77.9	78.1	79.0	79.4	81.0	79.0	80.8	76.1	79.4	79.0	78.1	79.2	82.5
sgm	80.5	84.9	85.5	84.7	85.1	85.1	84.7	84.7	86.0	85.7	85.4	85.6	85.4	85.5	85.6	85.9
rng	64.4	55.9	65.5	65.3	60.5	64.7	65.6	55.4	65.6	65.5	63.2	65.6	65.6	60.1	65.6	65.6
twn	96.1	96.1	96.2	96.1	96.1	96.1	96.1	96.1	96.2	96.1	96.0	96.1	96.1	96.1	96.2	96.2
thr	7.4	88.8	96.8	96.7	96.6	96.7	96.7	93.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8
wdbc	92.8	94.5	95.6	94.4	95.1	95.3	95.1	94.0	96.0	95.6	95.3	95.1	95.1	95.1	95.1	95.4
ion	79.8	83.2	83.2	83.8	83.5	82.3	82.9	82.9	83.2	83.2	83.2	82.9	83.5	83.2	83.2	83.2
drm	80.7	83.0	87.2	80.7	83.3	78.2	83.2	83.6	88.2	88.6	85.8	83.8	81.5	81.6	88.6	88.0
stm	60.3	63.6	69.1	66.4	65.2	64.7	65.3	63.2	68.9	69.1	66.4	68.6	68.8	64.6	69.3	68.5
spc	78.6	78.6	79.7	80.9	79.0	76.7	80.1	80.2	77.5	79.0	77.1	79.4	80.1	78.6	79.1	78.6
spm	39.4	56.1	76.9	74.7	66.5	72.4	72.1	59.2	77.0	77.4	72.0	78.2	78.4	62.0	75.1	74.2
snr	62.5	54.4	57.1	58.1	52.9	57.2	51.5	53.4	52.9	57.2	54.4	53.5	60.5	54.8	54.8	53.3
optd	13.5	28.1	33.3	27.0	28.1	27.1	26.7	26.9	33.1	33.1	30.1	29.1	28.6	29.5	32.9	32.4
cl2000	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0
mean	63.9	70.0	73.2	72.2	71.3	71.6	71.7	70.3	72.9	73.3	71.9	72.5	72.7	71.1	72.9	72.9

Table 4

Data set	Number of features after selection															
	<i>F</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
mgc	10	5.7	5.1	1.4	3.3	1.5	1.9	5.1	5.2	4.6	3.4	1.5	1.5	5.2	4.6	4.1
wn	13	7.7	6.0	5.4	5.8	6.4	5.2	7.1	6.3	5.3	6.0	5.3	5.1	6.3	5.6	5.3
hrt	13	6.2	6.3	6.1	6.7	6.5	5.5	6.6	6.8	7.2	6.2	5.9	6.6	6.6	7.3	6.6
clv	13	5.3	3.5	3.1	3.0	3.4	2.8	3.4	3.9	4.3	3.3	3.2	2.5	3.9	3.5	4.3
vwl	13	8.2	7.3	6.8	7.5	6.8	6.6	7.8	7.5	8.1	7.6	7.1	7.2	7.6	7.7	7.9
pnb	16	14.3	14.3	15.6	13.5	15.6	16.0	14.4	14.2	14.3	14.0	13.8	13.6	14.0	14.2	14.3
vhc	18	9.6	6.3	5.2	7.2	5.7	6.2	8.5	7.3	7.2	6.5	6.0	5.6	7.6	7.1	6.1
hpt	19	9.1	9.0	7.5	8.8	7.4	7.7	8.6	8.5	9.3	8.1	7.7	8.3	8.5	8.9	9.2
sgm	19	11.0	9.2	7.9	9.6	8.6	9.0	10.6	9.4	9.4	9.0	8.0	7.6	9.9	8.8	8.3
rng	20	5.2	2.9	2.6	3.5	2.3	2.7	6.0	2.8	2.9	3.6	2.8	2.8	3.8	2.8	2.8
twm	20	18.8	18.7	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	18.7	18.9	19.4	20.0	20.0	19.5	18.7	18.7
thr	21	10.6	7.4	6.0	8.1	7.1	6.0	8.8	7.6	7.7	8.1	6.6	6.7	9.2	7.7	7.8
wdbc	30	13.5	11.1	7.6	10.9	9.8	8.6	13.8	11.3	12.4	11.3	8.4	6.5	14.2	11.3	12.0
ion	33	20.8	19.1	17.6	19.0	17.8	17.6	20.6	19.2	18.9	19.4	16.9	17.1	19.8	18.8	19.7
drm	34	24.8	21.5	16.9	19.5	17.2	16.7	20.6	21.1	19.4	19.2	16.3	14.0	21.7	20.1	18.2
stm	36	16.7	6.0	7.7	12.1	10.5	10.3	15.0	5.9	6.3	10.4	5.1	5.1	13.8	6.3	6.3
spc	44	31.9	24.0	24.3	23.6	22.5	22.3	28.6	24.1	23.8	22.4	20.4	20.4	28.1	24.7	23.2
spm	57	20.5	14.0	8.9	19.5	15.5	15.8	20.2	14.6	14.8	20.4	8.0	7.6	20.5	15.2	15.5
snr	60	44.7	28.4	16.9	33.8	20.6	22.3	37.4	31.5	28.7	27.3	17.1	12.7	33.9	30.8	32.2
optd	64	35.3	32.1	25.1	33.1	29.0	26.0	35.4	32.7	30.9	30.6	24.1	21.3	36.6	31.9	31.7
cl2000	85	76.0	74.7	85.0	74.1	82.1	85.0	68.7	82.2	85.0	78.2	81.6	72.9	74.7	82.3	82.1
mean	30.4	18.9	15.6	14.2	16.3	15.1	15.0	17.5	16.2	16.2	15.9	13.6	12.6	17.4	16.1	16.0

Despite the fact that different binarization methods were in the lead in terms of two measured characteristics, the following can be noted. The merge operation improved the classification accuracy of other methods in almost all cases. If a small increase in the algorithm's running time is not a critical disadvantage, then this procedure should be used. When it is necessary to reduce the number of features as much as possible, one of the V-shaped transformation functions should be applied with the rule (6).

If we rank the methods by the received average results, we get that the combination of the transformation function (5) with rule (6) and the merge procedure performed best. The worst result was shown by the method of modified algebraic operations.

The reported study was funded by RFBR, project number 19-37-90064.

References

1. Elbeltagi E., Hegazy T., Grierson D. A modified shuffled frog-leaping optimization algorithm: applications to project management // *Structure and Infrastructure Engineering*. – 2007. – Vol. 3, No. 1. – P. 53–60.

2. Vakil Baghmisheh M.T., Madani K., Navarbf A. A discrete shuffled frog optimization algorithm // *Artificial Intelligence Review*. – 2011. – Vol. 36. – P. 267–284.

3. Hodashinsky I., Sarin K., Shelupanov A., Slezkin A. Feature selection based on swallow swarm optimization for fuzzy classification // *Symmetry*. – 2019. – Vol. 11(11). – P. 1423.

4. Mirjalili S., Lewis A. S-shaped versus V-shaped transfer functions for binary Particle Swarm Optimization // *Swarm and Evolutionary Computation*. – 2013. – Vol. 9. – P. 1–14.

5. Bardamova M.B., Konev A.A., Hodashinsky I.A., Shelupanov A.A. A Fuzzy Classifier with Feature Selection Based on the Gravitational Search Algorithm // *Symmetry*. – 2018. – Vol. 10. – P. 609.

Marina B. Bardamova

Lecturer, Junior Research Officer, Postgraduate Student
Department of Complex Information Security of Computer
Systems, University of Control Systems and Radioelectronics
(TUSUR)

40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050

ORCID: 0000-0002-0567-590X

Phone: +7-903-951-61-13

Email: bmb@fb.tusur.ru

UDC 621.391.825

Y.S. Zhechev, T.R. Gazizov

Two-wire modal filter with a thin passive conductor

The paper presents the results of quasi-static analysis of a two-wire modal filter with a thin passive conductor. The geometrical parameters of the investigated structure were optimized using a genetic algorithm. It is revealed that with a significant reduction in the thickness of the passive conductor it is possible to preserve or improve the electromechanical properties of the modal filter.

Keywords: modal filter, thin passive conductor, optimization, ultra-short pulse.

For the protection of on-board radio-electronic systems of the spacecraft from broadband conductive interferences, various circuitry and design solutions are used [1, 2]. However, due to the presence of parasitic parameters, many of them are found to be ineffective [3]. Thus, due to its high power, short duration, and wide range, the ultra-short pulse (USP) can penetrate deep into radio-electronic systems and disable them. To protect vulnerable circuits and elements from USP, the devices based on modal filtering principle are successfully used [4–6]. Fig. 1, *a* shows the cross-section of the two-wire modal filter (MF) in the classical configuration, and Fig. 1b shows its equivalent switch-on circuit. When passing through the MF, the USP is decomposed into two pulses of smaller amplitude. It should be noted that during the flow in the active DC conductor, the passive conductor is practically not activated. However, in some applications, the presence of a passive conductor identical in height to the active one is not desirable. For example, the copper balance of the PCB, its weight-size parameters and electromechanical characteristics may decrease. In the known works on modal filtration, the passive conductor was identical in height to the active one, and the influence of its thickness on MF characteristics was not analyzed. Thus, the purpose of this work is to fill this gap.

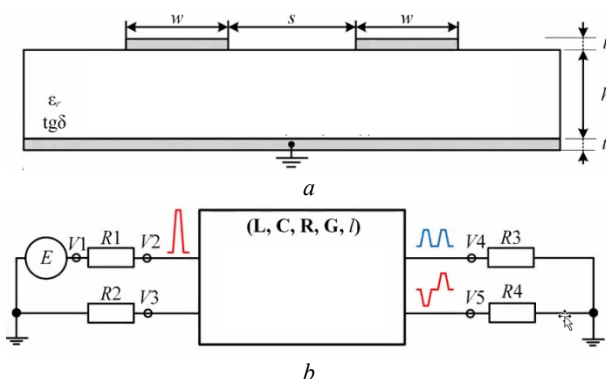


Fig. 1. Cross section of the two-wire MF (*a*) and its equivalent switch-on circuit (*b*)

Approaches, methods and structures

Different approaches and methods are used to analyze noise protection devices. Thus, for the analysis of filters on the lumped elements, the schematic approach is successfully used [7]. For the analysis of filters on the elements with distributed parameters, quasi-static and electrodynamic approaches are used [8, 9]. In this work,

the quasi-static approach is used, which provides sufficient accuracy at an optimal time spent on calculations.

A numerical method for solving the integral equation was used, namely, the moment method [10]. To obtain reliable results of modeling, the surface of a two-wire MF was dynamically divided into segments, inside of which surface charges were calculated (Fig. 2). Thus, the number of segments on the smallest interval was not less than 8, which provides high accuracy of the results in the whole range of accepted values of w and s .

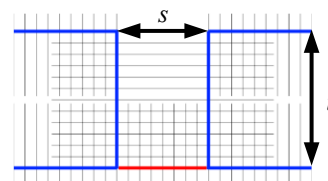


Fig. 2. Segmentation in simulation models of the two-wire MF

White ceramics Al_2O_3 96% with $\epsilon_r = 9.8$, $h = 0.5$ mm and $t = 300$ μm was chosen as a dielectric substrate material. The thickness of the passive conductor was 10 μm . In the process of the simulation, dielectric and conductor losses were not taken into account. Initial parameters of MF in the classical version were: $w = 350$ μm , $s = 2000$ mm, $l = 1$ m. Values of all resistances R are a constant value and are accepted equal to 50 Ω .

Analysis of the influence of the passive conductor thickness on the two-wire MF characteristics

The voltage forms at the input (V_2) and output (V_4) of the two-wire MF in the classical configuration are shown in Fig. 3. We can see that the USP is divided into two pulses of smaller amplitude. The maximum amplitude at the active line output of the two-wire MF was 501 mV, and the difference of linear delays was 0.43 ns.

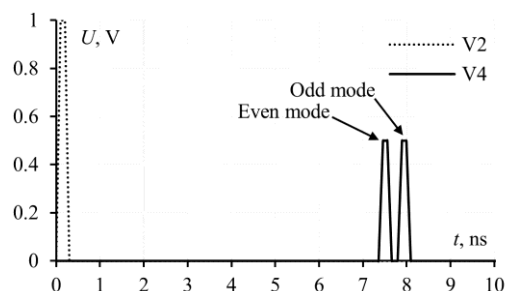


Fig. 3. Voltage forms at the input (V_2) and output (V_4) of a two-wire MF in a classic configuration

To analyze the influence of the passive conductor thickness on the two-wire MF characteristics, the time responses at the near and far ends were obtained, the geometric mean value of the characteristic impedance along the main diagonal was calculated, the maximum voltage at the output of the active conductor was obtained, and the line delays for even and odd modes were collected. The obtained results are presented in Table 1. The results show that as the thickness of the passive conductor decreases, the maximum voltage at the output of the active conductor increases. This is due to the fact that the connection between the active and passive conductors is weakened by the reduction in the thickness of the passive conductor. At the same time, it should be noted that the difference in per-unit-delay is increasing. The characteristic impedance of the transmission line varies in a narrow range, so the absolute deviation is 4.35 Ω.

Table 1

Analysis of the influence of the passive conductor thickness on the two-wire MF characteristics

$t, \mu\text{m}$ (pas. cond.)	Z_0, Ω	$U_{\text{max}}, \text{mV}$	$\tau_1, \text{ns/m}$	$\tau_2, \text{ns/m}$	$\Delta\tau, \text{ns}$
300	50.014	501	7.357	7.791	0.434
250	50.478	567	7.392	7.815	0.423
200	51.005	647	7.426	7.848	0.423
150	51.614	730	7.458	7.894	0.437
100	52.342	812	7.487	7.960	0.473
50	53.265	881	7.513	8.056	0.543
10	54.372	927	7.530	8.160	0.629

Optimization of two-wire MF in thin passive conductor configuration

To obtain optimal parameters (w of passive conductors, and s between conductors) in which the MSL will be coordinated and the amplitude of the USP at the output of a two-wire MF will be minimal, the optimization is performed by a global method (genetic algorithm).

The two-wire MF parameters optimized by the genetic algorithm are summarized in Table 2. After all iterations, optimization of two-wire MF parameters by the genetic algorithm was stopped. Optimal parameters for execution with thin passive conductor were: $w = 670 \mu\text{m}$ (active), $w = 250 \mu\text{m}$ (passive), $s = 600 \mu\text{m}$.

Table 2

Two-wire MF parameters optimized by the genetic algorithm

№	Parameters	Value
1	Number of individuals	50
2	Number of generations	50
3	Mutation Ratio	0.1
4	Crossover coefficient	0.5
5	Range of acceptance values for w (active conductor)	from 350 to 700 μm
6	Range of acceptance values for w (passive conductor)	from 300 to 4000 μm
7	Range of acceptance values for s	from 300 to 4000 μm
8	Weighting ratios for two functions	0.5

Fig. 4 presents voltage forms of the investigated structure of the two-wire MF in the version with a thin passive conductor.

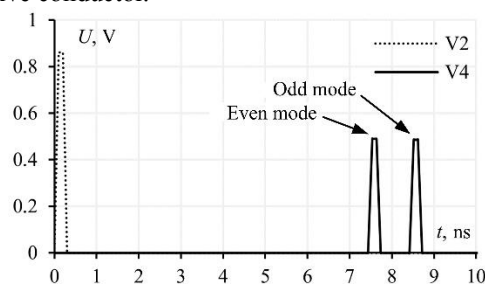


Fig. 4. Input (V_2) and output (V_4) voltage forms of two-wire MF with the thin passive conductor

The results show that the maximum amplitude of the MF in the version with a thin passive conductor was 498 mV, and the difference of per-unit-delay was 0.97 ns. The following are matrices C and L for the two-wire MF in a classic configuration, and for a MF with a thin passive conductor.

$$C = \begin{bmatrix} 7.11028 \cdot 10^{-10} & -5.34505 \cdot 10^{-10} \\ -5.34505 \cdot 10^{-10} & 7.18458 \cdot 10^{-10} \end{bmatrix}, \text{ F/m;}$$

$$L = \begin{bmatrix} 1.10911 \cdot 10^{-7} & 2.82698 \cdot 10^{-8} \\ 2.82698 \cdot 10^{-8} & 1.10998 \cdot 10^{-7} \end{bmatrix}, \text{ H/m;}$$

$$C = \begin{bmatrix} 7.02154 \cdot 10^{-10} & -4.31788 \cdot 10^{-11} \\ -4.31788 \cdot 10^{-11} & 6.13583 \cdot 10^{-10} \end{bmatrix}, \text{ F/m;}$$

$$L = \begin{bmatrix} 1.16739 \cdot 10^{-7} & 2.47027 \cdot 10^{-8} \\ 2.47027 \cdot 10^{-8} & 1.34937 \cdot 10^{-7} \end{bmatrix}, \text{ H/m.}$$

Conclusion

The paper presents the results of quasi-static analysis of a two-wire modal filter with a thin passive conductor. The geometrical parameters of the investigated structure were optimized using a genetic algorithm. It is revealed that with a significant reduction in the thickness of the passive conductor it is possible to preserve or improve the electromechanical properties of the modal filter.

References

1. Kechiev L.N. Design of the printed circuit boards for the digital high-speed equipment (in Russian. – M.: Group IDT b, 2007.
2. Gazizov T.P. Electromagnetic compatibility and safety of radio electronic equipment: a training posobii. – TML-Press, 2007.
3. Gizatullin Z.M., Gizatullin R.M. Investigation of the immunity of computer equipment to the power-line electromagnetic interference // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2016. – Vol. 61, No. 5. – P. 546–550.
4. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.R. UWB pulse decomposition in simple printed structures // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, No. 4. – P. 1136–1142.
5. Zhechev Y.S., Chernikova E.B., Belousov A.O., Gazizov T.R. Experimental research of a reflection symmetric modal filter in the time and frequency domains // Systems of

Control, Communication and Security. – 2019. – No. 2. – P. 162–179. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10208

6. Zhechev Y.S., Kosteletskii V.P. A modal filter with a parallel oscillatory circuit in a passive conductor // TUSUR scientific session: collection of selected papers. – 2020. – No. 1-2. – P. 323–326.

7. Zhechev Y.S., Kosteletskii V.P., Zabolotsky A.M., Gazizov T.R. Electromagnetic interference filter for spacecraft power bus // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – No. 1. – P. 012133.

8. Gazizov R.R., Ryabov R.S., Gazizov T.T. Influence of crossover and mutation coefficients on GA optimization of ultrashort pulse duration by criteria of peak voltage maximization in PCB bus // 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – IEEE, 2017. – P. 415–420.

9. Belousov A.O. et al. Quasi-static and electrodynamic simulation of reflection symmetric modal filter time response on ultra-short pulse excitation // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – No. 3. – P. 1–5.

10. Kuksenko S., Gazizov T., Zabolotsky A., Ahunov R., Surovtsev R., Salov V., Lezhnin E. New developments for im-

proved simulation of interconnects based on method of moments // 2015 International Conference on Modeling, Simulation and Applied Mathematics. – Atlantis Press, 2015.

Yevgeniy S. Zhechev

Postgraduate student Department of Television and Control, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4469-7033>
Email: zhechev75@gmail.com

Talgat R. Gazizov

Doctor of Sciences in Engineering, Associate Professor
Department of Television and Control, TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1192-4853>
Email: talgat@tu.tusur.ru

UDC 621.315.02

V.N. Davydov, O.F. Zadorozhny

Energy spectrum rectangular quantum well with staggered profile

The quantum well with the staggered profile (SQW) has the capacity to provide a significant increase in radiation intensity. The staggered profile has been used to increase the number of dimensional quantization levels (DQL) and to decrease the piezoelectric field in the QW. Its thickness increases according to the law of geometric progression, while the depth decreases. A complementary mathematical analysis was also undertaken on SQWs having $\text{In}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}/\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}/\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N} / \text{n}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}/\text{In}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$ contents. From the calculation of the energy spectrum of the SQW, it can be concluded that changing the top and bottom QWs thickness leads to an increase in the position of the energy levels in the SQW. This work not only provides insights into the staggered profile of QWs but also shows that the creation of such a profile should improve the characteristics of LED sources.

Keywords: Quantum wells, a staggered profile, an energy spectrum.

In recent years, semiconductor device developers pay attention to finding alternative light sources that can replace existing incandescent lamps. At the moment, great advances have been made in the area of creating radiation elements for LED heterostructures with multiple quantum wells (QWs). Traditionally, the active regions of such multiple QWs are created based on AIIIIN nitride barriers, in particular, InGaN/GaN-based. They are grown in the polar direction. These regions include an InGaN quantum well (QW), which acts as a radiating element. The parameters of the radiating elements essentially define the efficiency of electric current conversion into light radiation, namely, the InGaN QW. The theoretical limit of such transformation has yet to be reached.

Most LED heterostructures of nitrides (InGaN/GaN, etc.) used for the manufacture of lighting devices have QWs with a rectangular potential profile [1]. However, rectangular QWs have a fundamental disadvantage. This disadvantage is the loss of the rectangular QW energy space, occurring mainly at a small thickness of the QW, from 4 nm or less. The essence of this disadvantage is that the energy gap between adjacent dimensional quantization levels (DQLs) increases with an increase in its state number. This leads to a high density of the DQL at the QW bottom and to a rapid decrease in density with an increase in the state number. Therefore, the top part of the QW is located near the bottom conduction band of the barrier layer. It is deprived of the allowed states of charge carriers, which reduces the probability of their capture from the conduction band of the barrier layer to the QW states. One of the consequences of the low level of carrier injection on the DQL in a rectangular QW is the insufficiently high radiation intensity.

The energy spectrum of a single QW

As a first approximation, the maximum radiation intensity (per unit time) for an LED-heterostructure with multiple rectangular QWs can be defined as the sum of individual QW intensities. The radiation intensity $I_{hs}^{(\text{single})}$ for such a heterostructure that contains « m » QWs with $n_{2D}^{(e)}(E)$ electronic states density in it is described by an expression using the classical model of interband recombination [2]:

$$I_{hs}^{(QW)} = \hbar\omega B_l \sum_{k=1}^m np = \hbar\omega B_l \times a^2 \times \times \sum_{k=1}^m \left\{ \sum_{s=1}^N \left[n_{2D}^{(e)}(E_s) f_n(E_s) \right] \sum_{l=1}^P \left[n_{2D}^{(h)}(E_l) f_p(E_l) \right] \right\}. \quad (1)$$

where B_l is the probability of radiative recombination of electrons from n-QW and holes from p-QW with QW thickness (a); $n_{2D}^{(e)}$ is the density of energy states in the electron and hole QWs; $f_n(E_s)$, $f_p(E_l)$ are the Fermi functions for filling the DQL with electrons in the n-QW and holes in the p-QW, respectively; N is the number of dimensional quantization for electrons; P is the number of DQL for holes. In the simplest case, when the potential barrier of the p-n-junction region in the heterostructure is eliminated by the bias voltage, the filling functions of all electron and hole states can be considered equal to unity. As a simplification, the expression (1) can be written as:

$$I_{hs}^{(QW)} = \hbar\omega B_l a^2 m N P \left(\frac{m_n^*}{\pi\hbar^2} \right) \cdot \left(\frac{m_p^*}{\pi\hbar^2} \right). \quad (2)$$

From this expression, it follows that the more the thickness of the QWs, the number of QWs and the number of DQL in the SQW become, the more radiation intensity $I_{hs}^{(QW)}$ we have. However, there is known a limitation in the QW thickness (is the Broglie wavelength) and the number of wells ($ma < \lambda_B > 25$ QW).

The number of wells combined into a single staggered QW

The number of staggered wells depends on the total depth of the staggered well and is defined as the energy difference between the bottom QW conduction band and the barrier layer conduction band, i.e. $\Delta E_C = E_C^{(\text{bar})} - E_C^{(QW)}$. In this case, the bottom QW has a thickness (a_1) and the total number of QW (m). The total thickness of the staggered QW is determined by the condition that the energy volume of each QW «step» is densely filled with the energy numbers of DQL. Then the number of QW can be found from the condition:

$$\Delta E_C (\text{eV}) = \frac{4\pi^2 \hbar^2}{2em_n^* a_1^2} \left[1 + \left(\frac{a_1}{a_2} \right)^2 + \left(\frac{a_1}{a_3} \right)^2 + \dots + \left(\frac{a_1}{a_m} \right)^2 \right] + m \cdot \left(\frac{kT}{e} \right). \quad (3)$$

The factor «4» standing in front of the first term takes into account the fact that in each QW there are two energy levels: the first and second [1, 2]. In expression (3), the last term takes into account the need for the presence of an energy distance between the parts of SQW. Its introduction limits the mutual influence of neighboring QWs through phonon transmission. In view of (3), the thickness of an overlying QW should be greater than the thickness of the bottom (first) QW. In (5), fractions in parentheses can be considered as elements of a decreasing geometric progression, in which each subsequent term a_k is more than the previous one a_{k-1} . The difference between the elements of the decreasing geometric progression differs by a given number of times, i.e. $a_k = a_{k-1} \cdot q$. The parameter can be any number greater than one. So, if the thicknesses increase, for example, by 1.7 times, then the adjacent terms in (3) differ by a factor, and the progression converges. With that said, expression (4) can be rewritten in the form:

$$\begin{aligned} \Delta E_C (\text{eV}) &\cong 4 \frac{\pi^2 \hbar^2}{2em_n^* a_1^2} \sum_{k=0}^{m-1} \left(\frac{a_1}{a_k} \right)^2 + m \cdot \left(\frac{kT}{e} \right) = \\ &= 4 \frac{\pi^2 \hbar^2}{2em_n^* a_1^2} \left(\frac{q^2}{q^2 - 1} \right) + m \cdot \left(\frac{kT}{e} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

It is easy to verify that the sum of the progression obtained up to three per cent is provided by the first three terms, the sum of which is 5.9. This means that for a given denominator of the progression, the SQWs can be composed of three rectangular QWs ($m = 3$), the thicknesses of which should be correlated, i.e. $a_1 : a_2 : a_3 = 1.00 : 1.70 : 2.89$.

Energy spectrum of the SQW

Having determined the content of indium in the substance of the first QW and the effective mass of electrons from a given radiation wavelength, we find the QW thickness x_1 from expression (4):

$$\begin{aligned} a_1 &= \sqrt{6,1 \frac{\pi^2 \hbar^2}{2em_n^* \cdot (\Delta E_C - 3kT)}} \approx \\ &\approx \sqrt{\frac{6,1 \cdot 10^{-67}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 0,52}} = \sqrt{\frac{61 \cdot 10^{-18}}{3,2}} = 4,5 \text{ nm}. \end{aligned}$$

The thicknesses of the second and third QWs are found by multiplying the thickness of the first QW by the denominator of the progression in the first and second degrees, respectively: $a_2 = 1,7 \cdot 4,5 = 7,7 \text{ nm}$, $a_3 = 1,7 \cdot 7,7 = 13,1 \text{ nm}$. The DQL energies in each of these QWs are calculated by the expression (n is the DQL number in the k -th QW):

$$E_n^{(k)} (\text{eV}) = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2em_n^* a_k^2} n^2. \quad (5)$$

The first QW parameter is equal $a_1 = 4,5 \text{ nm}$, $E_1^{(1)} (\text{eV}) = \hbar^2 \pi^2 / 2em_n^* a_1^2 \approx 0,09$; $E_2^{(1)} (\text{eV}) \approx 0,350$. Then the higher boundary of the first QW, taking into account the gap between the levels, is equal to $\Delta E_1 = 0,376 \text{ eV}$.

The second QW parameter is equal to $a_2 = 7,7 \text{ nm}$; $E_1^{(2)} (\text{eV}) = \hbar^2 \pi^2 / 2em_n^* a_2^2 \approx 0,010$; $E_2^{(2)} (\text{eV}) \approx 0,040$. The higher boundary of the second QW is equal to $\Delta E_2 = 0,146 \text{ eV}$.

The third QW parameter is equal to $a_3 = 13,1 \text{ nm}$. $E_1^{(3)} (\text{eV}) = \hbar^2 \pi^2 / 2em_n^* a_3^2 \approx 0,010$; $E_2^{(3)} (\text{eV}) \approx 0,040$. Then the top boundary of the third QW is equal $\Delta E_3 = 0,066 \text{ eV}$.

The selected example of the SQW energy diagram is shown in Fig. 1.

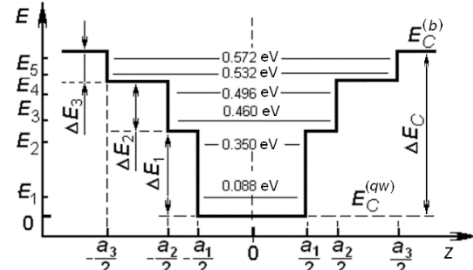


Fig. 1. The energy diagram of the SQW that includes an independent potential QW

In the calculation of the energy of DQL in the QW with different thicknesses, it is assumed that the total energy spectrum additively consists of three spectra: the spectrum of the lower QW, on which the second and third QWs spectra are superimposed. When combining QWs, these spectra do not change at all, and do not depend on each other. This assumption is rather crude, as there is a complex interaction between QWs that can be strong. However, it does not change the essence of the proposed method for increasing intensity.

The staggered quantum well energy capabilities

The energy capabilities of the SQW can be estimated using expression (2) as:

$$\begin{aligned} I_{hs}^{(\text{SQW})} &= \hbar \omega \cdot B_l \cdot m \times \\ &\times \left[N_1 \left(\frac{m_n^*}{\pi \cdot \hbar^2} \right) a_1 + N_2 \left(\frac{m_n^*}{\pi \cdot \hbar^2} \right) a_2 + N_3 \left(\frac{m_n^*}{\pi \cdot \hbar^2} \right) a_3 \right] \times \\ &\times \left[P_1 \cdot \left(\frac{m_p^*}{\pi \cdot \hbar^2} \right) a_1 + P_2 \cdot \left(\frac{m_p^*}{\pi \cdot \hbar^2} \right) a_2 + P_3 \cdot \left(\frac{m_p^*}{\pi \cdot \hbar^2} \right) a_3 \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

where N_1, N_2, N_3 are the DQL numbers in three wells of the SQW for electrons (in the conduction band); P_1, P_2, P_3 are the DQL numbers in three wells of the

SQW for holes (in the valence band) [2, 3]; is the SQWs number in the LED-heterostructure. Then from the expression (6) we find:

$$I_{hs}^{(SQW)} = \hbar\omega B_l M(N_1 + qN_2 + q^2N_3) \times \left(\frac{m_n^* \cdot a_1}{\pi \cdot \hbar^2} \right) \times (N_1 + qN_2 + q^2N_3) \cdot \left(\frac{m_p^* \cdot a_1}{\pi \cdot \hbar^2} \right). \quad (7)$$

The total SQW depth discussed above, which includes three independent potential QWs, is taken (for example) 0.6 eV.

In this case, the QW thickness for the first DQL energy is $a_1 = 4.5$ nm. Therefore, only two DQL fit in a single rectangular QW at a specified depth, since the third level has an energy equal to $E_3^{(1)} = E_1^{(1)} \cdot n^2 = 0.088 \cdot 9 \approx 0.792$ eV. This value of energy is greater than the QW energy depth and, therefore, it cannot be implemented. For this reason, it is convenient to compare the intensity of the generated QW radiation of a staggered profile by comparing it with the intensity of the generated radiation by a single well $I_{hs}^{(QW)}$ with a thickness $a_1 = 4.5$ nm and depth $\Delta E_C = 0.60$ eV. In view of the above and expression (2), we rewrite (8) in the form:

$$I_{hs}^{(SQW)} = I_{hs}^{(QW)} \left[\frac{(N_1 + qN_2 + q^2N_3) \cdot (P_1 + qP_2 + q^2P_3)}{N_1 \cdot P_1} \right];$$

$$\frac{I_{hs}^{(SQW)}}{I_{hs}^{(QW)}} = 1 + q \left[\left(\frac{N_2}{N_1} \right) + \left(\frac{P_2}{P_1} \right) + q \left(\frac{N_3}{N_1} \right) + q \left(\frac{P_3}{P_1} \right) + q \cdot \left(\frac{P_2N_2 + P_2N_3 + P_3N_2 + qP_3N_3}{N_1P_1} \right) \right], \quad (8)$$

where $I_{hs}^{(QW)}$ is the radiation intensity generated by the heterostructure with the MQW, m is the number of single rectangular QWs.

The ratio of the number of levels for holes in narrow and wide p -QWs is not calculated in this work, but with an accuracy sufficient to assess the capabilities of wells with a staggered profile, in a first approximation, their number can be taken equal to the values found for n -QWs: $P_3 = N_3$, $P_2 = N_2$, $P_1 = N_1$. Further, it is necessary to take into account that transitions between the DQL of the electron and hole QWs are possible only between states with the same numbers. Then, denoting $R_3 = N_3 / N_1 = P_3 / N_1$; $R_2 = N_2 / N_1 = P_2 / P_1$, from (8) we find:

$$\frac{I_{hs}^{(SQW)}}{I_{hs}^{(QW)}} = 1 + 2qR_2 + q^2(R_2^2 + 2R_3) + 2q^3R_2R_3 + q^4R_3^2. \quad (9)$$

Radiative transitions are transitions between energy levels with identical numbers in the electron and hole QWs. The intrazonal transitions from top to bottom levels in the emission spectrum do not appear due to their

nonradiative nature. In the case of radiative transitions, the generated photons belong to the far-infrared region of the spectrum. Consequently, the capture of charge carriers at higher energy levels leads to an increase in the concentration of carriers recombining with light emission. The increase in the radiation intensity of the SQW can be approximately estimated by considering the concentration of charge carriers at both levels in all QWs to be the same and equal to $N_1 = P_1$, $R_2 = N_2 / N_1 = P_2 / P_1 = 1$, $R_3 = N_3 / N_1 = P_3 / N_1 = 1$. Then, from (13) for combining the three QWs, we find:

$$I_{hs}^{(SQW)} / I_{hs}^{(QW)} = 1 + 2q + 3q^2 + 2q^3 + q^4 \approx 32.6.$$

The expression for the SQW with two rectangular QWs is transformed to:

$$I_{hs}^{(SQW)} / I_{hs}^{(QW)} = 1 + 2q + 3q^2 \approx 13.4.$$

The obtained estimate should be considered as a maximum since it has been obtained on the condition that that the SQW is completely filled. If the mutual influence of QWs is considered, then the spectrum of the SQW differs significantly [4]. Nevertheless, these estimates indicate the potential for increasing the LED-heterostructure radiation intensity due to the use of a staggered QW in it.

Conclusions

The presented SQW provides an increase in the intensity of the radiation that is generated by the LED-heterostructure. The radiation intensity magnification is due to an increase in the number of DQL inside quantum wells, which is obtained by space multiplexing of several rectangular QWs with different thicknesses and depths into one QW. With the increase of QWs number, its thickness increases according to the law of geometric progression, while the depth decreases. The SQW obtained in this way has a denser energy spectrum than a single QW with the same depth and thickness.

It is shown that the presence of a large number of DQL in the SQW increases the number of charge carriers injected into it. The charge carriers fall to the lower energy level of the first QW of SQW, which in turn affects the carrier concentration in it and increases the rate of radiative recombination. An increase in the efficiency of injection of charge carriers in the QW at a given current through the heterostructure occurs due to a decrease in the through current created by carriers that are not captured by the wells.

The main result of the introduction of the SQW is an increase in radiation intensity of the LED heterostructure as compared with a structure with a single rectangular well. It is established that, depending on the QW number contained in the SQW, the ratio of QWs thicknesses, the number of DQL in the QW, an increase in radiation intensity can reach tens of times. It is established that, depending on the number of QWs to be attached, the ratio of their thicknesses, as well as the number of DQL, this increase can reach tens of times.

References

1. Martinez-Duart DM. World of Materials and Technologies // Nanotechnologies for micro- and optoelectronics. – 2007. – 368 p.

2. Schubert F. LEDs. – М.: Fizmatlit, 2008.
3. Park S.H., Ahn D., Koo B.H., Kim J.W. Electric and optical properties of staggered InGaN/GaN quantum-well light-emitting diodes. // Phys.Status Solidi. A. Appl. Matter. Sci. – 2009. – Vol. 206, No. 11. – P. 2637–2640.
4. Davydov V.N., Zadorozhny O.F., Tuev V.I., Soldatkin V.S., Viliusov A.A. Combined-profile LED quantum well heterostructures. Application for invention No. 2919123050 (045023). Registration data 17.07.2019.
5. Davydov V.N., Zadorozhny O.F., Karankevich O.A. Restriction of a number of levels of dimensional quantization in elements of Nanoelectronics // Russian Physics Journal. – July, 2019. – Vol. 62, No. 3.

Valery N. Davydov

Dr. of Engineering, Prof.,
Department of Electronic Devices, TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, 634050, Russia
Email: dvn@fet.tusur.ru

Oleg F. Zadorozhny

PhD student, Department of Electronic Devices, TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, 634050, Russia
Email: Oleg9300@mail.ru

UDC 621.37

T.A. Zhurin, E.S. Sim, V.G. Dyu, M.G. Kisteneva, S.M. Shandarov

Differential characteristics of optical transmission spectra of vanadium-doped bismuth titanate crystal

This paper presents numerical simulation of the differential characteristics of the optical transmission spectrum of a sillenite class of a vanadium-doped bismuth titanate crystal ($\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{V}$).

Key words: spectroscopy, optical transmission, bismuth titanate oxide, crystals of the sillenite class.

In the model of impurity optical absorption proposed by the authors [1], it is assumed that there is a contribution to it not only from the processes of photoexcitation of electrons into the conduction band from deep donor centers, but also from intracenter transitions. The paper [2] presents a comparative analysis of methods for identifying intracenter transitions in crystals of the sillenite class, one of which is based on the study of the first and second derivatives of the optical transmission spectrum of the samples [3].

This paper presents the results of numerical simulation of the differential characteristics of the transmission spectrum of the $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{V}$ sample using its material parameters and the theoretical absorption model from [1].

Procedure of numerical analysis.

The numerical analysis of the transmittance of the $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{V}$ sample with a thickness of $d = 4.6$ mm was carried out on the basis of the impurity absorption model [1], which takes into account the contributions to it of both the processes of photoexcitation of electrons into the conduction band from deep donors with a normal distri-

bution of their concentrations over the ionization energy, and intracenter transitions for defects that can be luminescence centers. In this case, the transmittance of the crystal can be calculated through its absorption coefficient $k(\lambda)$ according to the known relation [4]

$$T(\lambda) = \frac{[1 - R(\lambda)]^2 \exp[-k(\lambda)d]}{1 - R^2(\lambda) \exp[-2k(\lambda)d]}, \quad (1)$$

where $R(\lambda)$ is the Fresnel reflection coefficient from the input and output faces of the crystal, and λ is the wavelength of light.

Results of numerical modeling.

The spectral dependences of the optical transmission of the crystal (curve 1) and its first (curve 2) and second (curve 3) derivatives obtained as a result of numerical simulation are shown in Fig. 1, *a*. The spectral dependences of the Gaussian components used in the simulation, which make an additive contribution of intracenter transitions to impurity absorption, are indicated by curves 1–4 in Fig. 1, *b*.

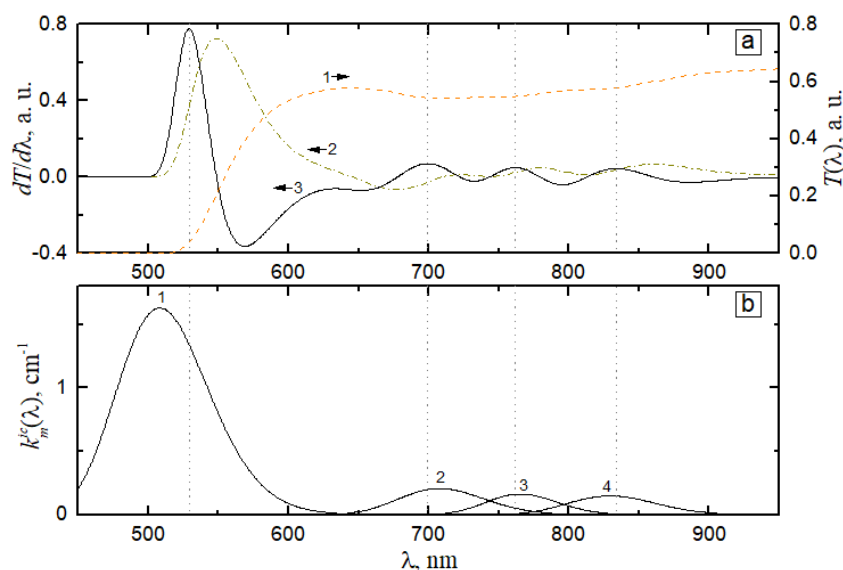


Fig. 1. Spectral dependences of the transmittance $T(\lambda)$ and its derivatives for the $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{V}$ sample (*a*) and four Gaussian components $k_m^{ic}(\lambda)$ that give an additive contribution to the absorption index (*b*)

The vertical dotted lines in Fig. 1 show the maxima for the second derivative with wavelengths $\lambda_0 = 593, 701, 762, 735$ nm. Three of the noted maxima are close in spectral position to the maxima of the Gaussian compo-

nents, which make an additive contribution to impurity absorption. It is easy to see that the maximum with a wavelength of 593 nm has a significant shift ($\Delta\lambda = 20$ nm) relative to the Gaussian component 1, which is close to it

(Fig. 1, *b*). Presumably, this shift is due to the presence of a contribution of the processes of photoexcitation of electrons to the conduction band from deep donor centers in this spectral region.

Conclusion

Thus, it has been established that the considered approach, based on the study of the differential characteristics of the optical transmission spectrum, can be useful for revealing intracenter transitions in defect centers, but is not suitable for identifying the positions of deep donor levels that contribute to light absorption due to the processes of photoexcitation of electrons into the band conductivity.

This work is supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the projects FEWM-2020-0038/3.

References

1. Kisteneva M.G., Khudyakova E.S., Shandarov S.M. et al. Spectral dependences of extrinsic optical absorption in sillenite crystals // *Quantum Electronics*. – 2015. – Vol. 45, No. 7. – P. 685–690.
2. Zhurin T.A., Sim E.S., Dyua V.G., Kisteneva M.G., Shandarov S.M. Differential Characteristics of the Optical Transmission Spectra of Sillenite Crystals // *Optics and Spectroscopy*. – 2020. – Vol. 128, No. 9. – P. 1364–1367.
3. Petkova P., Kostova B., Marinova V., Tacheva J. λ -modulation absorption spectra and photochromic effect in $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$: Fe single crystal // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* – 2010. – Vol. 15. – Art. 012070.
4. Uhanov Yu.I. Optical properties of semiconductors. – M.: Nauka, 1977. – 368 p.

Timofey A. Zhurin

PhD student, Department of Electronic Devices, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
ORCID: (0000-0001-6610-3182)
Phone: +7-999-177-43-48
Email: timoxazh1@gmail.com

Elena S. Sim

PhD student, Department of Electronic Devices, TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 952-888-86-19
Email: lenoliya@rambler.ru

Valeriya G. Dyu

Assistant, Department of Electronic Devices, TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7-952-888-87-45
Email: valeriya.dyu@gmail.com

Marina G. Kisteneva

Associate professor, Department of Electronic Devices, TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 913-805-19-10
Email: m-kisteneva@mail.ru

Stanislav M. Shandarov

Professor, Department of Electronic Devices,
Dr. of Phys.-Math. S, TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 913-813-94-71
Email: stanislavshandarov@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 13**АВТОМАТИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ***Председатель секции – Кориков Анатолий Михайлович, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. АСУ*

С.М. Алфёров, Р.Е. Богачев, А.С. Бондаренко, А.А. Пивоваров, Д.А. Неверовский Разработка системы автоматизированного управления отоплением	7
А.С. Писанкин, А.Ю. Чепкасов, А.С. Гончаров Прогнозирование перегрева привода промышленного манипулятора с использованием методов интеллектуального анализа данных	10
М.Ю. Катаев, И.Ю. Чернышов Представление результатов расчета параметров движения человека в форме протокола.....	13
Д.В. Дубинин, А.И. Кочегуров, В.Е. Лаевский* (V. Geringer) К вопросу разработки и совершенствования критериев оценки качества обработки изображений	16
А.А. Кравцов, К.А. Качалов, И.А. Крючков, С.С. Харченко Оценка востребованности новостных источников. Верификация алгоритма схожести текстовой информации.....	20
И.В. Соловьева, А.Б. Кураков, Б.Р. Хаюмов Разработка интерфейса программы определения параметров походки человека по видеопотоку	24
М.Д. Хо, С.В. Муравьев Повышение точности оценки измеряемой величины на основе мультипликативных совокупных измерений.....	27
А.Б. Кураков, Б.Р. Хаюмов, Г.А. Волокитин, М.Ю. Катаев Исследование влияния морфологических преобразований бинарного изображения фигуры человека в задаче контроля параметров походки	31
М.Ю. Катаев, А.Е. Кохонов Описание структуры программы оценки отклонений формы электрокардиосигнала с помощью нейросетевого подхода.....	34
А.И. Елизаров, Д.В. Кокарев Методы оценки качества изображений.....	36
А.А. Мороз, А.Б. Кураков Разработка программы построения скелетной модели человека по его изображению	40
Д.В. Кручинин, Ю.В. Шабля, М.Ю. Перминова Разработка правил применения композит для производящих функций двух переменных	42
В.С. Старшинов, Е.Д. Подкаминер, С.Г. Цапко Разработка алгоритма для автоматизированного распределения сеансов управления космическими аппаратами между станциями наземного обслуживания	45
М.Ю. Катаев, В.В. Рябухин Разработка алгоритмов обработки изображений БПЛА для распознавания сельскохозяйственных растений.....	49
А.А. Согомонянц, Е.С. Полынцев, И.Д. Шабалин, Е.С. Шандаров Использование социального робота для увеличения интерактивной составляющей электронных образовательных ресурсов	51
Е.В. Широкова, В.А. Шварцкоп Оптимизация компонентов автоматных сетей.....	54
И.Г. Яр-Мухамедов Линейная модель для балансирования фазных нагрузок распределительной электросети.....	59
А.Е. Кодоров, А.А. Климов, П.Е. Пугачев, И.Ю. Проказина, Е.С. Шандаров Виртуальный робот: расширение каналов взаимодействия электронных образовательных ресурсов с пользователем	61
А.А. Осколков, Д.Н. Трушников, И.И. Безукладников Управление температурой полимерного материала в процессе трёхмерной печати	65

Секция 14

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Председатель секции – *Шелупанов Александр Александрович, д.т.н., профессор, президент ТУСУРа, зав. каф. КИБЭВС*

Н.Е. Карпова, А.С. Баранов, А.А. Емелина, А.Е. Коновалов Разработка системы мониторинга аномальных действий пользователя в информационной среде.....	69
Д.Ш. Даутов Мобильное приложение для обмена и контроля целостности данных в системе распределённого реестра	73
И.Д. Котилевец, С.Ю. Данилов, Ш.Р. Гададов Защитный кейс для огнестрельного оружия	77
Я.А. Усольцев, А.А. Коновалов, Б.С. Лодонова, А.Ю. Якимук, Е.Ю. Костюченко Изучение влияния гиперпараметров нейронной сети на ее работу и исследование возможности проведения атаки состязательного типа на специфичном наборе данных	81
А.Г. Малашина Модификация одного алгоритма восстановления текстовых сообщений и математическая модель распределения числа осмысленных текстов	85
А.М. Федотова, А.В. Куртукова, С.Е. Шаньшин, А.С. Романов Разработка методики определения авторства русскоязычного текста на основе аспектного анализа	89
С.З. Ахмад, В.М. Сафарян Организация имитозащищенного обмена данными	92
Д.А. Андреевских, С.Д. Разбойников, К.С. Сарин Сравнение применения локальных и глобальных признаков рукописной подписи для аутентификации пользователя	94
А.С. Мельман, П.О. Петров, А.А. Шелупанов Адаптивный алгоритм встраивания информации по методу QIM в сжатые JPEG-изображения	98
П.М. Шипулин, Н.В. Немков, А.Н. Шниперов Группировка временных промежутков как способ повышения помехоустойчивости временной стеганосистемы	102
Н.В. Немков, П.М. Шипулин, А.Н. Шниперов Способ скрытой передачи данных по открытым каналам связи посредством манипуляций сетевым трафиком	105
М.М. Немирович-Данченко Применение метода Пронй для анализа биометрических данных	108
В.С. Агеева, А.К. Новохрестов, М.А. Холодова Угрозы, направленные на информационную систему в физической среде и киберпространстве	112
А.В. Набиева, И.Р. Полиняева, А.Е. Половников, Н.С. Егошин Угрозы безопасности информации в физической среде и киберпространстве	115

Секция 15

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ И ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ

Председатель секции – *Сенченко Павел Васильевич, проректор по учебной работе, доцент каф. АОИ, канд. техн. наук*

А.А. Емельянов, О.В. Булыгина Выбор инструментов анализа НЕ-факторов с учетом коэффициента эмерджентности Хартли	118
Е.П. Грабчак, Е.Л. Логинов «Цифровые двойники» как инструмент раннего предупреждения и управления экстренным реагированием на чрезвычайные ситуации на объектах топливно-энергетического комплекса	122
В.А. Комаров, А.В. Сарафанов Методологические основы проектирования многопользовательских распределенных измерительно- управляющих систем как элементов организационно-технических систем управления.....	126
Е.В. Грива, Р.С. Кульшин, С.В. Коновалов Разработка чат-бота для помощи в выявлении симптомов, прогнозирования и предотвращения распространения коронавирусной инфекции	130

Е.В. Грива, Р.С. Кульшин, С.В. Коновалов Разработка чат-бота для проведения голосований за общественные инициативы и поиска лидеров мнений	132
С.А. Кузнецов, А.Д. Вильнин Подход к автоматизированному поиску ультраправых сообществ в социальных сетях на основе календарной активности	134
А.Ю. Кайда, А.О. Савельев Применение графовой визуализации данных в системах поддержки принятия решений для решения задач автоматизации проведения исследований	137
А.В. Куртукова, А.С. Романов, А.А. Соболев Воздействие корпоративных стандартов разработки на идентификацию автора исходного кода	140
С.Ц. Ванданова, Т.О. Перемитина Сравнительный анализ программного обеспечения поэтажной визуализации зданий	143
И.Г. Яр-Мухамедов Оптимизационная модель персонального тайм-менеджмента	145
С.А. Гордиенко Исследование систем электронного документооборота	147
А.Д. Ульянов, Ю.Б. Гриценко Применение метода вторичной идентификации для диагностики промышленных объектов	149

Секция 16

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ

Председатель секции – Дмитриев Вячеслав Михайлович, профессор каф. КСВП, д-р техн. наук

А.С. Стецко, В.А. Гойник, В.А. Кузнецов Проектирование веб-ориентированного интерфейса в системе управления обучением	152
---	-----

Секция 17

ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

*Председатели секции – Курячий Михаил Иванович, доцент каф. ТУ, канд. техн. наук;
Зайцева Екатерина Викторовна, доцент каф. ТУ, канд. техн. наук*

Т.М. Акаева Адаптивная медианная фильтрация цифровых изображений	155
Н.А. Бородина Разработка модели классификации дорожных знаков для их распознавания	158
Г.Е. Эдель Глубокое обучение с использованием библиотеки TensorFlow	162
М.Е. Сукотнова, Я.К. Карпова, В.В. Капустин Методы локализации лиц с последующей персональной идентификацией	165
Е.С. Чалдина, А.К. Мовчан, В.В. Капустин, М.И. Курячий Вычислитель активных зон видения томографических систем	169
6 Д.А. Лазарева, В.В. Капустин Алгоритмы повышения качества телевизионных изображений, полученных в условиях недостаточной освещенности	173
Р.Е. Макажанов, М. Назарбек, К.А. Апевалов Гистограммная обработка цифровых изображений и реализация ее в среде MatLab	177
М. Назарбек, Р.Е. Макажанов, К.А. Апевалов Применение нерезкого маскирования для обработки изображения в среде MatLab	182
В.А. Семиглазов, С.В. Серебренников Технологии 3D-сканирования в образовании	185
А.С. Захлебин, А.Н. Калибеков, М.И. Курячий Построение геопривязанного ортофотоплана участка местности по изображениям с телевизионной камеры БПЛА вертолетного типа	187

Секция 18

РОБОТОТЕХНИКА И МЕХАТРОНИКА

*Председатель секции – Шурыгин Юрий Алексеевич, первый проректор,
зав. каф. КСУП, д-р техн. наук, профессор*

И.И. Булуев

Разработка системы видеонаблюдения для подводного робота «Odyssey» 190

Р.В. Саблин, М.Д. Жумабек, В.П. Коцубинский

Роботизированная платформа, оснащенная механическим манипулятором и техническим зрением 195

А.А. Изюмов, Н.Ю. Хабибулина, Ю.А. Шурыгин

Управление движением колесного мобильного робота с манипулятором
по криволинейной траектории в условиях наличия препятствий 197

Секция 19

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ВЕБ-СИСТЕМ И МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Председатель секции – Зариковская Наталья Вячеславовна, доцент каф. АОИ, канд. физ.-мат. наук

Я.И. Фокина, М.А. Гордиенко, С.С. Харченко

Концепт автоматизированной системы контроля посещаемости 201

В.А. Рачис

Реализация автоматизированной информационной платформы Интернета вещей – «Micran IoT» 204

Л.С. Шилов, М.И. Васильева, А.В. Куртукова, А.С. Романов

Разработка архитектуры программного комплекса для трехмерной реконструкции
формы стопы человека по видеопотоку 209

Е.Р. Калюжный, И.Д. Ксендзовский, Н.В. Зариковская

Архитектуры и технологии реализации современных информационных систем 212

Секция 20

**ЭЛЕКТРОННОЕ ГОСУДАРСТВО: ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО
И АДМИНИСТРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ**

Председатель секции – Сидоров Анатолий Анатольевич, зав. каф. АОИ, канд. экон. наук

А.А. Сидоров, Е.И. Косенко

Вызовы цифровой экономики в условиях пандемии COVID-19 215

В.В. Аржанов, К.В. Аржанов, В.В. Безгачева

Цифровая трансформация предприятий Томской области: оценка уровня готовности 219

Секция 21

**RESULTS OF POSTGRADUATE AND MASTER STUDENTS' RESEARCH
IN THE SPHERE OF ELECTRONICS AND CONTROL SYSTEMS**

*Председатели секции – Покровская Елена Михайловна, зав. каф. ИЯ, канд. филос. наук;
Шпит Елена Ирисметовна, ст. преп. каф. ИЯ*

A.A. Ivanov

Analytical model for evaluating shielding effectiveness of an enclosure with a partial
dielectric cross-section filling 222

E.B. Chernikova

Modal decomposition of an ultrashort pulse in structures with circular reflection symmetry 225

A.A. Kvasnikov

Analytical report generation module of the EMC simulation software 228

A.V. Nikonenko, I.A. Kurzina, E.M. Oks

Dependence of an average UFG titanium grain size on processing temperature 230

M.B. Bardamova	
Binarization of the Shuffled frog leaping algorithm for feature selection in fuzzy classifiers.....	232
Y.S. Zhechev, T.R. Gazizov	
Two-wire modal filter with a thin passive conductor	236
V.N. Davydov, O.F. Zadorozhny	
Energy spectrum rectangular quantum well with staggered profile	239
T.A. Zhurin, E.S. Sim, V.G. Dyu, M.G. Kisteneva, S.M. Shandarov	
Differential characteristics of optical transmission spectra of vanadium-doped bismuth titanate crystal.....	243

Научное издание

**ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА
И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

XVI Международная научно-практическая конференция

18–20 ноября 2020 г.

Материалы докладов

В двух частях

Часть 2

Electronic Devices and Control Systems
XVI International Scientific-practical Conference
November 18–20, 2020
Part 2

Верстка В.М. Бочкаревой
Корректор В.Г. Лихачева

Издательство «В-Спектр»
Подписано к печати 25.11.2020.
Формат 70×100¹/₁₆. Печать трафаретная.
Печ. л. 15,6. Тираж 100 экз. Заказ 24.

Издано ТУСУР
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, к. 205, ГК. Тел. (382-2) 70-15-24.

Издательство «В-Спектр». ИНН 7017129340
634055, Томск, пр. Академический, 13-24. bvm@sibmail.com