



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

2



АЛЬМАНАХ

НАУЧНЫХ РАБОТ
МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ

2021

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО
(Университет ИТМО)**

**АЛЬМАНАХ
НАУЧНЫХ РАБОТ
МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ
Университета ИТМО**

Том 2



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Санкт-Петербург
2021**

УДК_082.2
ББК_94.3

Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 2. СПб.
Университет ИТМО. 2021. 261 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на Пятидесятой научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО по тематикам: безопасность информационных технологий; системы управления и робототехника.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель редколлегии:

Бобцов Алексей Алексеевич

доктор технических наук, профессор,
директор мегафакультета компьютерных технологий и управления
Университета ИТМО.

Члены редколлегии:

Пыркин Антон Александрович

доктор технических наук, профессор, декан факультета систем управления
и робототехники

Заколдаев Данил Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, декан факультета безопасности информационных
технологий

Андреев Юрий Сергеевич

кандидат технических наук, доцент, заместитель декана факультета систем управления
и робототехники

Третьяков Сергей Дмитриевич

кандидат технических наук, доцент факультета систем управления и робототехник

ISBN 978-5-7577-0648-1

ISBN 978-5-7577-0651-1 (Том 2)



Университет ИТМО (Санкт-Петербург) – национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию: ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), Google Code Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication. Входит в ТОП-100 по направлению «Автоматизация и управление» Шанхайского предметного рейтинга (ARWU) и занимает 74 место в мире в британском предметном рейтинге QS по компьютерным наукам (Computer Science and Information Systems). С 2013 по 2020 гг. – лидер Проекта 5-100.

© Университет ИТМО, 2021

© Авторы, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные 1 – 4 февраля 2021 года на Пятидесятой научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО по тематике: безопасность информационных технологий; системы управления и робототехника.

Конференция проводится в целях ознакомления общественности с результатами научных исследований, выполненных в рамках: государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, стратегии развития Университета ИТМО до 2027 года, грантов Президента РФ для поддержки молодых российских ученых, грантов РФФИ, РНФ, по постановлению Правительства РФ N 218 от 9 апреля 2010 года " Об утверждении Правил предоставления субсидий на развитие кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций реального сектора экономики в целях реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств", по постановлению Правительства РФ № 220 от 09 апреля 2010 г. «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные организации высшего образования, научные учреждения и государственные научные центры Российской Федерации», государственной поддержки центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций, федерального проекта "Цифровые технологии", национальной программы «Цифровая экономика в Российской Федерации» и по инициативным научно-исследовательским проектам, выполняемыми преподавателями, научными сотрудниками, аспирантами, магистрантами и студентами Университета, в том числе в содружестве с предприятиями, организациями Российской Федерации, а также международными сообществами для увеличения эффективности научно-исследовательской деятельности и подготовки кадров и специалистов высшей квалификации.

НАПРАВЛЕНИЕ
«БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ;
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКА»



Абышев Оман Аскарбекович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

аспирант,

направление подготовки: 09.06.01 – Информатика

и вычислительная техника,

e-mail: abyshev.o@yandex.ru



Яблочников Евгений Иванович

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: yablochnikov@itmo.ru

УДК 65.01, 62-91, 004.9

**РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СЕРВИСА ДЛЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
«COMPOSITE DESIGNER» В ИНДУСТРИАЛЬНОЙ
КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ**

О.А. Абышев

Научный руководитель – к.т.н., доцент Е.И. Яблочников

Аннотация

В данной работе рассмотрен процесс разработки архитектуры сервиса для проектирования композиционных материалов “Composite Designer” в индустриальной киберфизической платформе. Индустриальная киберфизическая платформа служит средой разработки конкретных экземпляров индустриальных киберфизических систем класса «Умная фабрика». Проведен анализ теоретических основ разработки сервисных приложений. Разработана архитектурная модель сервисного приложения для индустриальной киберфизической платформы. Проведен анализ интерфейсов и логики работы отдельных модулей. Синтезирован прототип сервиса, а также выполнен контрольный расчет, показывающий работоспособность сервиса.

Ключевые слова

Индустриальная киберфизическая платформа, ИКФС, САПР, композиционные материалы, SOA, сервисы, архитектура сервиса, Умная фабрика.

Проектирование подобных сложных технических объектов основано на применении идей и принципов, изложенных в ряде теорий и подходов. Наиболее общим подходом является системный подход, идеями которого пронизаны различные методики проектирования сложных систем.

Основной общий принцип системного подхода заключается в рассмотрении частей исследуемого явления или сложной системы с учетом их взаимодействия. Системный подход включает в себя выявление структуры системы, типизацию связей, определение атрибутов, анализ влияния внешней среды, формирование модели системы, исследование модели и, возможно, оптимизацию ее структуры и функционирования.

В рамках проводимых диссертационных исследований ставится попытка создания унифицированной платформы для проектирования и разработки промышленных киберфизических систем класса «Умная фабрика» [1-3].

Индустриальная киберфизическая платформа (ИКФ-Платформа) служит средой разработки конкретных экземпляров промышленных киберфизических систем класса «Умная фабрика».

Первый уровень представлен *физическими объектами или активами предприятия* (англ. Physical objects, actives). В качестве физических объектов производственной системы могут выступать технологическое оборудование в составе производственных ячеек, мобильные транспортные устройства, отдельные компоненты автоматизации, или люди. Эти объекты обладают следующими характеристиками: интеллектуальность, идентифицируемость и прослеживаемость, автономность, самодиагностируемость и способность взаимодействовать с другими объектами производственной системы. Эти характеристики являются основой для обеспечения требований к Умным фабрикам.

Второй уровень представлен *хранилищем данных цифровых (кибер) представлений* (англ. cyber) объектов первого уровня. Данное хранилище вмещает в себе данные и модели физических объектов в облачной сетевой инфраструктуре, доступные в любое время и в любом месте: электронные макеты, 3D-модели, имитационные модели и результаты симуляций, проектные документы и технические спецификации, и т.д.

Третий уровень представлен *сервисными приложениями*. Вторым и третьим уровнями формируются киберчасть КФС. Данный уровень включает в себя как встроенные сервисные приложения, доступные в рамках базовой конфигурации Умной фабрики, так и сторонние приложения, расширяющие функционал базовой конфигурации. Это, например, сервис управления эффективностью технологического оборудования (MES), сервис объемного планирования и составления расписаний (APS), сервисы цифрового инжиниринга (CAx) и т.д.

Актуальность данной работы заключается в исследовании и разработке необходимых компонентов архитектуры промышленной киберфизической платформы на уровне сервисных приложений, в частности, сервиса проектирования композиционных функциональных магнитных материалов.

Цель работы

Разработать архитектуру сервиса для проектирования композиционных материалов в рамках промышленной киберфизической платформы.

Исходя из цели, были определены четыре задачи:

1. Анализ теоретических основ разработки сервисных приложений.
2. Разработка архитектурной модели сервиса.
3. Анализ интерфейсов и логики работы отдельных модулей.
4. Синтез прототипа сервиса.

В данной работе рассматриваются композиционные материалы, в частности состав, структура и свойства новых функциональных магнитных материалов.

Материалы и методы

Сервисориентированный подход (SOA) – методология проектирования, основанная на представлении проекта в виде совокупности сервисов, каждый из которых является отдельным компонентом с фиксированными интерфейсами, выполняющих определенные функции [5].

В связи с тем, что SOA может быть применима к решению самых разных задач, в зависимости от направления деятельности работающих с этой архитектурой специалистов существуют три описания SOA: с точки зрения направления бизнеса, архитектуры и реализации:

1. Описание SOA с точки зрения направления бизнеса представляет набор сервисов, которые бизнес предлагает своим потребителям и партнерам или другим подразделениям организации.

2. Описание с точки зрения ИТ-архитектуры представляет собой архитектурный стиль, требующий наличия поставщика и пользователя ИТ-сервисов, а также их описаний. Набор архитектурных принципов, шаблонов и критериев, учитывающих такие характеристики, как модульность, инкапсулированность, слабая связанность, разделение интересов, многократность использования, компоуемость и единство реализации.

3. Описание с точки зрения реализации: это модель программирования, совместимая со стандартами, инструментами и технологиями Web-сервисов.

Ключевым понятием SOA являются интерфейсы. Именно они являются средством для представления возможностей того или иного сервиса пользователям и организации взаимодействия между различными типами сервисов. В интерфейсе сервиса определены параметры обращения к нему и описан результат, то есть интерфейс должен определять суть сервиса, а не технологию его реализации.

SOA предлагает единую схему взаимодействия сервисов независимо от того, находится ли сервис в том же самом приложении, в другом адресном пространстве многопроцессорной системы, на другой аппаратной платформе в корпоративной intranet-сети или в приложении, развернутом на ИТ-площадке партнера. Все это обеспечивает гибкость SOA, способность системы, реализованной в такой архитектуре, реагировать на изменения в бизнес-процессах динамично и без сложных трансформаций на интеграционном уровне [4, 5].

Разработка и проектирование функциональных магнитных материалов базируется на фундаментальных основах и современных научных достижениях материаловедения и сопротивления материалов, машино- и приборостроения, автоматизированного проектирования.

В данной работе рассматриваются композиционные материалы, в частности состав, структура и свойства новых функциональных магнитных материалов.

Композиционные материалы, как и традиционные конструкционные материалы (металлы и их сплавы), обладают тем же разнообразием свойств, различием структурных составляющих и разнообразием фазового состава. Поэтому композиционные материалы и их составляющие ингредиенты (например, упрочняющие волокна) тоже должны обладать определенными свойствами, позволяющими обеспечивать их высокие функциональные свойства (физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные).

Структурно можно выделить три уровня проектирования композиционных материалов:

- 1) наноуровень (молекулы, элементарные ячейки кристаллической структуры),
- 2) микроструктурный (кристаллические зерна, фазовые включения),
- 3) макроструктурный (гранулы, порошки, пленки, матрицы, волокна, поверхностные слои, защитные покрытия).

Каждый уровень проектирования определяет состав, структуру и свойства данного конкретного уровня, при этом также формируя конечные свойства всего изделия.

Современный уровень технологий и методов исследования обеспечивает возможность создания особых свойств на каждом уровне проектирования. Так, науке и промышленности известны множество технологий получения композиционных материалов. Общая классификация методов представлена в табл. 1. В рамках проводимых исследований был определен и выбран ряд технологий, на основе которых будет апробирована логика функционирования разрабатываемого сервиса, а именно: порошковая металлургия, аддитивные технологии, литье под давлением, литье в песчаные смеси, совместное со-осаждение.

Таблица 1

Основные технологии получения композиционных материалов

Уровень проектирования	Твердофазные методы	Жидкофазные методы	Методы осаждения
Наноуровень	Порошковая металлургия	Направленная кристаллизация	Совместное со-осаждение
	Сварка взрывом	Электроимпульсные технологии	Электролитическое осаждение
Микроструктурный	Аддитивные технологии	Литое плакирование	Осаждение из газовой фазы
	Диффузионная металлизация	Нанесение наплавов	Плазменное напыление
	-	Пайка	Эмиссионный способ
Макроструктурный	Дискретное компактирование	Литейные технологии	Золь-гель синтез
	Непрерывное компактирование	Электрошлаковые технологии	-

В табл. 2 показаны группы основных материалов составных компонентов (матрицы, наполнителей, функциональных магнитных частиц) и типов армирования. Представленные группы не являются конечным числом известных науке типов матриц, армирования и состава наполнителей, однако в данной работе будет принята данная классификация.

Таблица 2

Классификация групп компонентов композитного материала

Тип материала матрицы	Тип армирования	Армирующий наполнитель	Магнитные частицы
Органические полимерные смолы	Непрерывное однонаправленная	Волокна	Ферритные сплавы [Fe ₂ O ₃ + MeO]
Железосодержащие сплавы и соединения	Непрерывное перекрестное	Усы, проволока	Наномагнетит [Fe ₂ O ₃]
Силикаты, ситаллы – минеральная керамика	Дискретное хаотичное	Пленки, слои поверхностные	Окислы двухвалентных металлов [MgO, ZnO, NiO]
Матрицы на основе гуминовых кислот	Дискретная направленная ориентация	Гранулы, хлопья, поры, пена	Частицы металлов [Fe, Ni, Al, Co, V, Cu]

Таким образом, были выбраны два твердофазных, два жидкофазных метода и один метод осаждения – всего пять. При этом выбранные методы могут быть применены в определенной степени для всех комбинаций композиционных материалов. Выбор данного множества методов позволяет смоделировать процесс многоуровневого проектирования состава, структуры и свойств композиционных материалов, исходя из заданных исходных требований к функциональным и нефункциональным свойствам изделия.

Описание разрабатываемого решения

Целевая функция разрабатываемого сервиса – сформировать необходимую и достаточную техническую спецификацию, содержащую требования к применяемому композитному материалу и общие требования к его изготовлению. При этом данный сервис состоит из модулей, отвечающих за реализацию отдельных проектных процедур и операций. В настоящей работе выбор модулей определен в соответствии с принятыми группами материалов (две группы - магнитомягкие, магнитотвердые) и унифицированными технологическими процессами (порошковая металлургия, аддитивная печать, фасонное литье сплавов).

На рис. 1 представлена архитектура сервиса для проектирования композиционных материалов «Composite Designer» в индустриальной киберфизической платформе.

Сервис «Composite Designer» состоит из модулей, отвечающих за реализацию отдельных проектных процедур и операций. Общий список модулей может варьироваться от конкретной реализации и потребностей производства. В настоящей работе выбор модулей определен в соответствии с принятыми группами материалов и унифицированными технологическими процессами (порошковая металлургия, аддитивная печать, фасонное литье сплавов).

Базовый состав содержит следующие модули:

- модуль проектирования химического состава композитных материалов (ChemCad, ANSYS Material Designer);
- модуль проектирования функциональных свойств композитных материалов (ANSYS Mechanical, ANSYS Material Designer, ANSYS Maxwell);
- модуль проектирования технологических свойств композитных материалов (Moldex3D, MagmaSoft, CastDesigner, ProCast);
- модуль проектирования эксплуатационных свойств;
- модуль проектирования унифицированных технологических процессов изготовления композитных материалов (Anylogic).



Рис. 1. Архитектура сервиса для проектирования композиционных материалов «Composite Designer» в индустриальной киберфизической платформе

К исходным требованиям могут быть отнесены различные функциональные и нефункциональные свойства материала, в том числе требования к структуре и составу. Данные требования вербально или визуально формируются заказчиком или конструктором, отвечающим за общее руководство разработкой продукции. Формализация данных требований производится инструментами визуального моделирования и бизнес-анализа.

Все требования поступают в формализованном виде на вход сервиса в формате текстового документа с разметкой в соответствии с заранее определенным шаблоном. Данный унифицированный шаблон выступает необходимым интерфейсом передачи данных о требованиях, обладает полной и достаточной структурой и составом для обеспечения работоспособности данного интерфейса.

Модуль проектирования химического состава обеспечивает формирование исходной спецификации состава химических компонентов проектируемого композитного материала. Исходной основой для проектирования является информация, полученная из исходных технических требований – условия работы будущего изделия и требования к технологичности формируют граничные условия. Данный модуль определяет тип базовой матрицы и схему армирования, текстуру. Далее определяются состав, количество и качество компонентов: материала матрицы, функциональных и нефункциональных наполнителей, в том числе технологических присадок и армирующих элементов. Также могут быть рассмотрены дополнительные операции по улучшению свойств композитного материала.

Модуль проектирования функциональных свойств композитных материалов обеспечивает расчет физико-механических (прочность, надежность, трещиностойкость), физико-химических (химические, тепловые, электрические, магнитные) свойств. Формируются технические требования к моно слоям композитных материалов и его фазовым компонентам. Проектирование композитного материала производится на основе известной геометрии и конструкции с применением средств визуального, численного и имитационного моделирования и симуляции. Расчет производится на основе валидированных и верифицированных методик, сертифицированных разработчиками данных модулей. При этом разрабатываемый сервис обеспечивает необходимую интеграцию и выступает административно-управленческой оболочкой.

Модуль моделирования и симуляции технологических и эксплуатационных свойств композитных материалов обеспечивает расчет параметров технологических свойств, исходя из геометрии, конструкции, химического состава и функциональных свойств материала. Данный модуль производит моделирование и симуляцию металлургических и литейных процессов для данного материала с учетом метода изготовления (порошковая металлургия, аддитивная печать, фасонное литье сплавов) и воздействия внешних факторов (температура в цехе, чистота сырья и т.д.). Рассчитываются ряд технологических (жидкотекучесть, ликвация, градиент температуры, неметаллические включения, расположение волокон в матрице и т.д.), функциональных (коробление, деформация, остаточные напряжения) и временных (время и скорость заливки, выдержки, охлаждения) параметров. Полученные результаты обновляют общую модель и могут потребовать проведения дополнительных расчетов для оценки функциональных свойств или внесения изменений в химический состав и структуру.

Модуль проектирования унифицированных технологических процессов изготовления композитных материалов объединяет в себе результаты предыдущих для формирования итоговой спецификации. Данная спецификация отражает общие требования данной группы материалов к процессу изготовления: групповые режимы обработки, общую циклограмму времени по технологическим операциям, стоимостные характеристики изготовления материала, пределы применимости и вариативности (гибкости конфигурации), возможные аналоги-заменители, общие требования к технологическому оборудованию и оснастке.

Для обеспечения интеграции с другими сервисами и объектами индустриальной киберфизической платформы в настоящем сервисе предусмотрены интерфейсы коммуникации. Так, предусмотрены человеко-машинный интерфейс (мобильное приложение, сайт-приложение, графические редакторы отдельных модулей), а также программный интерфейс сервисного приложения (API). Данные интерфейсы

обеспечивают коммуникацию цифровых образов объектов с сервисом, в том числе для инженерного персонала, технологических машин, умных заготовок и т.д.

Возможны реализации с различной степенью автоматизации проектных работ. Рассмотрим динамическое проектирование. Так, часть работ по вводу и конфигурации отдельных параметров расчетной модели могут обеспечиваться оператором через графический интерфейс, тем самым обеспечивая необходимую гибкость сервиса. В данном случае идет речь о полуавтоматическом режиме работы сервиса. Применение данного режима формирует дополнительное условие к компетентности оператора в работе с отдельными функциями модулей сервиса. При этом основные операции моделирования, симуляции, вычисления и вывода результатов могут выполняться автоматически. Для этого каждый модуль настоящего сервиса должен иметь заранее описанный и запрограммированный унифицированный технологический процесс, описывающий указанные ранее проектные процедуры с возможностью автоматического определения и настройки параметров решателей.

Другим способом проектирования является статический метод. В этом случае заранее моделируются, симулируются и рассчитываются все необходимые варианты расчетных условий и конфигурации, исходя из имеющихся данных и представлений о потребностях производственной системы. Это позволяет сформировать и наполнить базу данных, к которой запросы в последующем будут адресованы. Для повышения гибкости данного режима предполагается использование унификации и группового метода. Так, возможная неполнота соответствия требований может быть компенсирована выбором ближайшего аналога-заменителя.

Таким образом, цель сервиса «Composite Designer» – сформировать необходимую и достаточную техническую спецификацию, содержащую требования к применяемому композитному материалу и общие требования к его изготовлению. С точки зрения вопросов материаловедения данная спецификация определяет состав, структуру и свойства проектируемого композитного материала. С точки зрения производственной инженерии данная спецификация определяет параметры унифицированного технологического процесса изготовления данного композитного материала. Определяются требования к параметрам режимов обработки, общая циклограмма времени по технологическим операциям, стоимостные характеристики изготовления материала.

Общий список модулей может варьироваться от конкретной реализации и потребностей производства. Для обеспечения интеграции с другими сервисами и объектами индустриальной киберфизической платформы в настоящем сервисе предусмотрены интерфейсы коммуникации.

Разработка прототипа сервиса

Для реализации предложенной концепции был создан прототип предлагаемого решения. В настоящий прототип сервиса были заложены следующие функциональности:

- импорт и анализ исходных требований;
- создание микроструктуры композиционного материала;
- проведение анализа, моделирования и симуляции механических, тепловых и магнитных свойств композиционного материала;
- экспорт результатов в облачное хранилище.

Для реализации заданных функциональных требований к прототипу были решены следующие задачи:

- формирование исходных требований к проектированию микроструктуры композиционного материала;
- выбор и настройка соответствующих расчётных модулей и файловых хранилищ;

- создание необходимых проектных сущностей и репозиторий;
- информационная интеграция расчётных модулей и файловых хранилищ;
- проведение цифрового моделирования и симуляции тестового композиционного материала.

За основу для формирования исходных требований к проектированию микроструктуры композиционного материала были приняты данные стандарта ГОСТ 17809-72 – Магнитотвердые материалы, а также имеющиеся данные в базе материалов модуля ANSYS Workbench. Исходные требования к проектированию представлены в табл. 3.

Таблица 3

Общие требования к микроструктуре и свойствам композиционного материала

Содержание железа	Не менее 60%
Содержание углерода	Не менее 2%
Содержание меди	Не менее 20%
Группа магнитных материалов	Магнитотвердый
Плотность	Не более 7000 кг / м ³
Тип армирования	Частицы
Характер распределения	Беспорядочное распределение

Для отработки процесса проектирования микроструктуры была выбрана следующая конфигурация модулей:

- облачное файловое хранилище Google Drive;
- расчетный модуль Ansys Material Designer;
- библиотеки инженерных данных Ansys Workbench Engineering Data (General, VH curves).

Выбор Google Drive в качестве облачного файлового хранилища обусловлен его простотой, доступностью широкому ряду пользователей, размером хранилища, а также возможностью в последующем конфигурации автоматического обращения отдельных модулей к облачному хранилищу путем адресации запросов к файлам по статическому адресу.

Выбор Ansys Material Designer в качестве расчетного модуля обусловлен в первую очередь наличием информационной интеграции с ведущей платформой для цифрового инженерного моделирования и симуляции Ansys Workbench. Следует отметить также наличие встроенной библиотеки инженерных данных Ansys Workbench Engineering Data, позволяющей значительно упростить поиск и формирование исходных данных для разработки прототипа сервиса.

На рис. 2 представлена информационная модель обмена данными между облачным, локальным хранилищем и расчетным процессором. Так, исходная спецификация в формате текстового документа преобразуется в файл формата CSV или XML. Выбор данных форматов обусловлен особенностью выбранной конфигурацией модулей, а также их широкой применимостью как стандартных форматов обмена данными между программными приложениями. На начальном этапе файл содержит информацию только о требованиях к композиционному материалу. В последующем данная спецификация будет дополняться результатами симуляции для проведения итогового сравнительного анализа. Инфраструктура Ansys Workbench позволяет производить импорт данных в формате CSV-файлов для дополнения функциональных свойств спецификаций стандартных материалов.

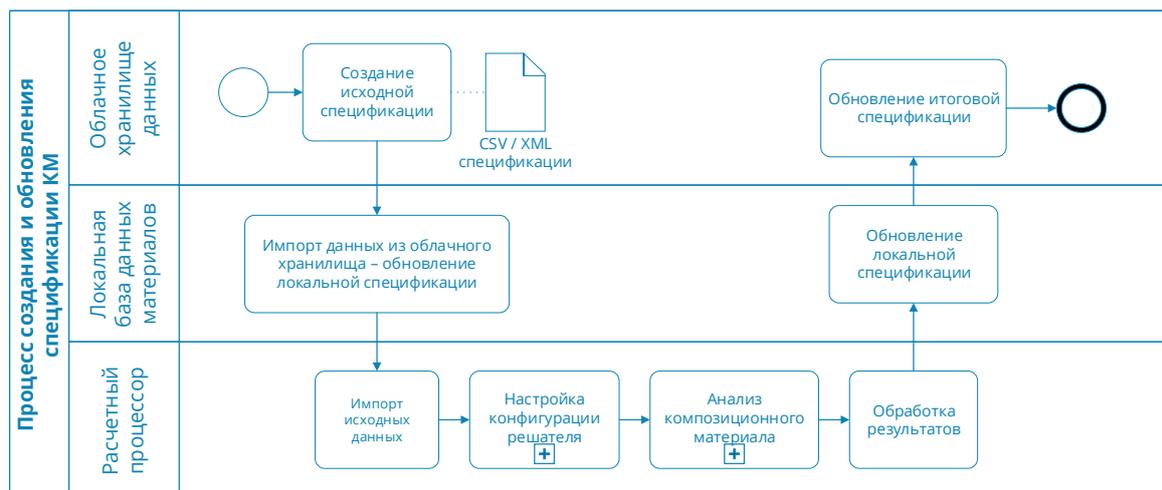


Рис. 2. Модель обмена данными между облачным, локальным хранилищем и расчетным процессором

Рассмотрим процесс проведения цифрового моделирования и симуляции тестового композиционного материала. В рамках настоящего исследования было создано репозиторий в облачном хранилище Google Drive, а также проект исследования в среде Ansys Workbench. Модель проекта исследования представлена на рис. 3.

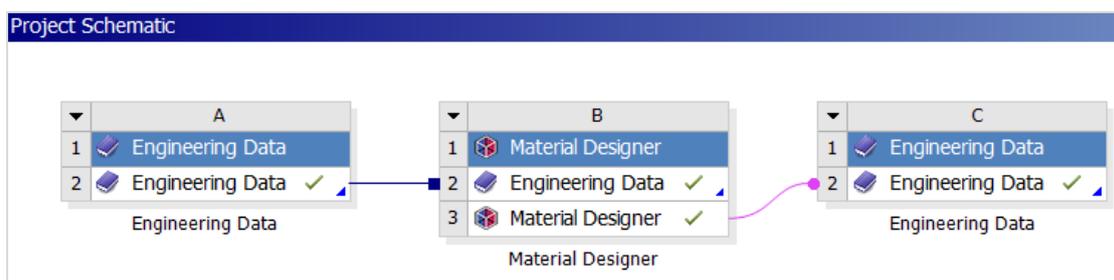


Рис. 3. Общий порядок процесса моделирования и симуляции структуры и свойств композиционного материала в Ansys Workbench

Блок А отвечает за интеграцию первичных данных из библиотеки инженерных данных Ansys Engineering Data. Блок В непосредственно производит инженерный анализ композиционного материала. Блок С является постпроцессором, в котором производится формирование итоговой спецификации композиционного материала. На рис. 4 представлена информационная модель процесса.



Рис. 4. Информационная модель обмена данными между локальным хранилищем ANSYS Workbench и расчетным процессором ANSYS Material Designer

Первым этапом является выбор шаблона микроструктуры композиционного материала. Модуль ANSYS Material Designer предлагает ряд типовых микроструктур, а также возможность добавления пользовательской конфигурации. В соответствии с принятыми требованиями был выбран следующий шаблон – Random Particle Reinforced Composites (композиты, армированные беспорядочными частицами), состоят из изотропного линейно-упругого матричного материала и изотропного линейно-упругого частичного материала.

Следующий шаг – выбор и добавление материалов матрицы и функционального наполнителя. Так, в качестве материала матрицы была принята сталь углеродистая обыкновенная; функционального наполнителя – медный сплав обыкновенный.

Третий шаг – настройка конфигурации представительного объема исследуемого композиционного материала, задание параметров матрицы и наполнителя. Были применены следующие параметры: сплошная матрица (сталь углеродистая) и полые частицы наполнителя (медный сплав). Важно отметить, что в качестве допущения при моделировании был принят равный диаметр всех частиц. Порядок расположения – хаотический.

На рис. 5 представлена геометрическая модель представительного объема, RVE со следующими параметрами: сплошная матрица и полый наполнитель.



Рис. 5. Конструкция представительного объема исследуемого композиционного материала: сплошная матрица и полый наполнитель

Следующий этап – построение конечно-элементной модели (КЭ сетки). Следует отметить, что модуль имеет ограниченный инструментарий управления сеточным генератором. На рис. 6 представлен результат работы сеточного генератора. Из рисунка видно низкое качество построения сетки конечных элементов. Это обусловлено известными ограничениями управления генератором, а также сложностью построения сетки высокой дискретности на тонкостенных сферических телах.

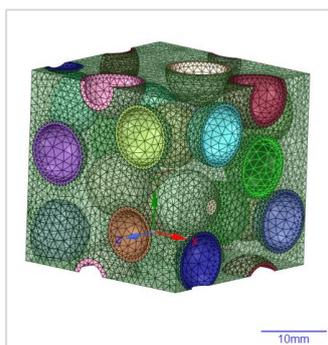


Рис. 6. Конечно-элементная модель представительного объема исследуемого композиционного материала

Пятый этап – настройка и запуск решателя, проведение анализа. Настоящий модуль расчета позволяет провести анализ ограниченного ряда функциональных свойств, в частности, доступен расчет механических и теплофизических параметров материала. Конфигурация параметров представлена на рис. 7. Итоговые результаты моделирования и симуляции – рис. 8. Полученные результаты экспортированы в библиотеку инженерных данных для последующего сравнительного анализа и представлены в табл. 4 и рис. 9.

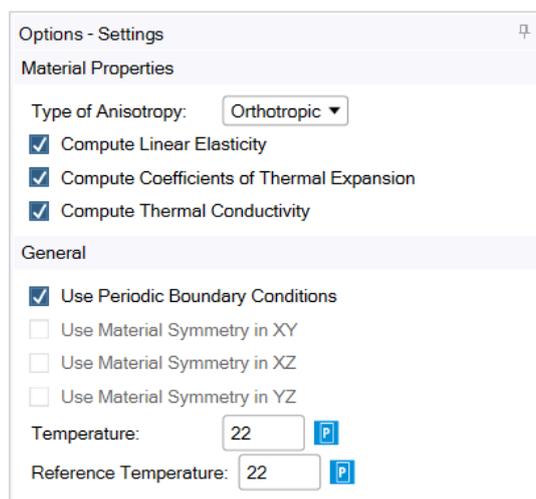


Рис. 7. Конфигурация расчетного препроцессора: выбор исследуемых результатов

Name	Value	Unit	P
Engineering Constant			
E1	1,1533E+05	MPa	<input type="checkbox"/>
E2	1,1468E+05	MPa	<input type="checkbox"/>
E3	1,1461E+05	MPa	<input type="checkbox"/>
G12	44802	MPa	<input type="checkbox"/>
G23	44482	MPa	<input type="checkbox"/>
G31	44597	MPa	<input type="checkbox"/>
nu12	0,27969		<input type="checkbox"/>
nu13	0,27755		<input type="checkbox"/>
nu23	0,27734		<input type="checkbox"/>
Density			
rho	6,1122E-09	t mm ⁻³	<input type="checkbox"/>
Thermal Expansion C			
aX	1,2439E-05	C ⁻¹	<input type="checkbox"/>
aY	1,2448E-05	C ⁻¹	<input type="checkbox"/>
aZ	1,2453E-05	C ⁻¹	<input type="checkbox"/>
Thermal Conductivity			
K1	66,003	t mm s ⁻³ C...	<input type="checkbox"/>
K2	66,025	t mm s ⁻³ C...	<input type="checkbox"/>
K3	65,994	t mm s ⁻³ C...	<input type="checkbox"/>
Specific Heat			
cp	4,2841E+08	mm ² s ⁻² ...	<input type="checkbox"/>
Logs			
RVE log			
Solver logs			

Рис. 8. Итоговая спецификация свойств композиционного материала – результаты моделирования и симуляции

Properties of Outline Row 4: Particle Structural Steel/Copper Alloy				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Density	6112,2	kg m ⁻³	
3	Orthotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
4	Coefficient of Thermal Expansion			
5	Coefficient of Thermal Expansion X direction	1,2439E-05	C ⁻¹	
6	Coefficient of Thermal Expansion Y direction	1,2448E-05	C ⁻¹	
7	Coefficient of Thermal Expansion Z direction	1,2453E-05	C ⁻¹	
8	Orthotropic Elasticity			
9	Young's Modulus X direction	1,1533E+05	MPa	
10	Young's Modulus Y direction	1,1468E+05	MPa	
11	Young's Modulus Z direction	1,1461E+05	MPa	
12	Poisson's Ratio XY	0,27969		
13	Poisson's Ratio YZ	0,27734		
14	Poisson's Ratio XZ	0,27755		
15	Shear Modulus XY	44802	MPa	
16	Shear Modulus YZ	44482	MPa	
17	Shear Modulus XZ	44597	MPa	
18	Orthotropic Thermal Conductivity			
19	Thermal Conductivity X direction	66,003	C ⁻¹ mm s ⁻³ t	
20	Thermal Conductivity Y direction	66,025	C ⁻¹ mm s ⁻³ t	
21	Thermal Conductivity Z direction	65,994	C ⁻¹ mm s ⁻³ t	
22	Specific Heat, C _p	4,2841E+08	C ⁻¹ mm ² s ⁻²	

Рис. 9. Данные по материалу – Композиционный материал,
 Particle Structural Steel/Copper Alloy

Таблица 4

Сравнительный анализ теоретических данных и результатов моделирования

Параметр	Ед.изм	Материал			
		Сталь углеродистая обыкновенная	Медный сплав обыкновенный	Композиционный материал	
Модуль упругости	E _X	МПа	200 000	110 000	115 326,5
	E _Y				114 682,2
	E _Z				114 610,1
Модуль сдвига	G _{XY}	МПа	76 923	41 045	44 802,4
	G _{YZ}				44 482,2
	G _{XZ}				44 596,6
Коэффициент Пуассона	ν _{XY}	-	0,3	0,34	0,2797
	ν _{YZ}				0,2775
	ν _{XZ}				0,2773
Плотность	-	кг / м ³	7850,0	8300	6112,2
Коэффициент теплового расширения	α _X	C ⁻¹	1,2E-05	1,8E-05	1,2439E-05
	α _Y				1,2448E-05
	α _Z				1,2453E-05
Теплопроводность	K _X	$\frac{\text{г} \cdot \text{мм}}{\text{с}^3 \cdot \text{C}^3}$	60,5	401	66,003
	K _Y				66,025
	K _Z				65,994
Коэффициент удельной теплоемкости	c	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	434	385	428,41

Последний этап – обработка результатов и экспорт данных в облачное хранилище. Анализ результатов показывает значительное различие по ряду механических и

теплофизических свойств разрабатываемого композиционного материала и исходных материалов (плотность, коэффициент Пуассона). Так, расчетная плотность композиционного материала составила $6112,2 \text{ кг/м}^3$, при этом для углеродистой стали – 7850 кг/м^3 , медного сплава – 8300 кг/м^3 .

При этом некоторые параметры сохраняют свою преэссенциальность свойств от исходных материалов (для медного сплава – модуль сдвига, модуль упругости; для стали углеродистой – теплопроводность, коэффициент теплового расширения, коэффициент удельной теплоемкости).

Разработанный композиционный материал был экспортирован в локальное и облачное хранилище в качестве тестового для проведения последующих экспериментов. При этом были получены CSV-файлы спецификации данного материала, XML-файл библиотеки, а также HDF5-файл с данными о микроструктуре КМ. На рис. 10 представлен рабочий репозиторий облачного хранилища.

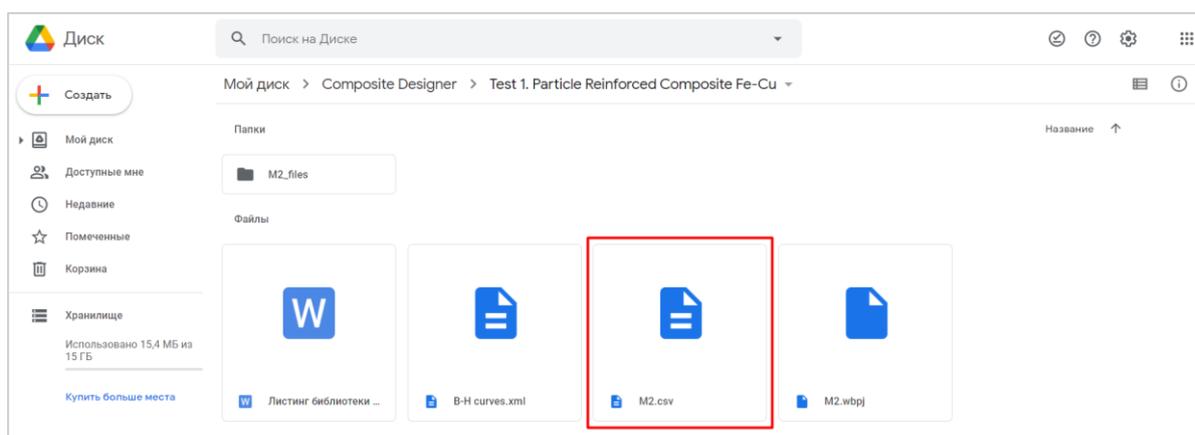


Рис. 10. Экспорт результатов в облачное хранилище

Важно отметить, что конфигурация прототипа не смогла обеспечить проведение анализа магнитных свойств исследуемого тестового композиционного материала ввиду существующих ограничений расчетного модуля, а также отсутствия данных о магнитных свойствах для исходных материалов в библиотеке инженерных данных.

Одними из путей решения может служить импорт справочных данных из других библиотек и их интеграция в итоговую спецификацию. При этом принимается допущение, что магнитные свойства (форма петли гистерезиса и т.д.) представляют собой проектное предположение, которое необходимо будет проверить на этапе реальных экспериментов.

Настоящий прототип был разработан для иллюстрации процессов анализа структуры, свойств и состава тестового композиционного материала, вопросов информационной интеграции отдельных модулей. Получены первичные результаты, показывающие работоспособность предлагаемой модели облачного сервиса. Был выявлен ряд ограничений, которые будут учтены при разработке последующих версий прототипов сервиса.

Следует отметить, что, как и в любой сложной технической системе, настоящий сервис имеет границы применимости, определяющие степень гибкости и масштабируемости сервиса. Так, в настоящей работе принято ограниченное количество групп композитных материалов (две группы - магнитомягкие, магнитотвердые) а также применяемых унифицированных технологических процессов (три процесса - порошковая металлургия, аддитивная печать, фасонное литье сплавов). При этом значительный вклад в ограниченность функциональности вносят возможности имеющегося технологического оборудования и средств оснащения. Вопросы выбора и

определения конфигурации параметров рабочего технологического процесса рассматриваются в отдельном сервисе проектирования технологии изготовления.

Таким образом, был проведен анализ теоретических основ разработки сервисных приложений. Разработана архитектурная модель сервисного приложения для индустриальной киберфизической платформы. Проведен анализ интерфейсов и логики работы отдельных модулей. Синтезирован прототип сервиса, а также выполнен контрольный расчет, показывающий работоспособность сервиса.

Литература

1. Lee E.A. Cyber Physical Systems: Design Challenges Oriented Real-Time Distributed Computation. In 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computation. 2008. pp. 363-69.
2. Monostori L., Kádár B., Bauernhansl T., Kondoh S., Kumara S., Reinhart G., Sauer O., Schuh G., Sihn W. and Ueda K. 2016. Cyber-physical systems in manufacturing. *Cirp Annals*, 65(2), pp.621-641.
3. Armando W. Colombo Digitalized and Harmonized Industrial Production Systems: The PERFoRM Approach / Gepp M., Oliveira J.B., Leitao P., Barbosa J., Wermann J. // CRC Press. 2019. p.332. ISBN 9780429553899.
4. Сатунина А.Е., Сысоев А.С. Сервис-ориентированный подход к построению и функционированию корпоративной информационной системы // *Современные проблемы науки и образования*. 2009. № 6-1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=1295> (дата обращения: 16.01.2021).
5. MES – теория и практика. Выпуск 2. 2010. Официальные материалы ассоциации MESA International. Москва. 2010. 98 с.



Aldarf Alaa
Year of birth: 1992
ITMO University,
faculty of software engineering and computer systems,
PhD student, group № 7762,
specialty: 09.06.01 – Informatics and computer engineering,
e-mail: alaadarf665@gmail.com



Shaker Alaa
Year of birth: 1991
ITMO University,
faculty of software engineering and computer systems,
PhD student, group № 7762,
specialty: 09.06.01 – Informatics and computer engineering,
e-mail: eng.alaashaker@gmail.com



Bessmertny Igor Alexandrovich
Year of birth: 1954
ITMO University,
faculty of software engineering and computer systems,
D.Sc., professor,
e-mail: igor_bessmertny@hotmail.com

УДК 004.272.26

ACCELERATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS TRAINING TIME USING GRAPHICAL PROCESSORS

A. Aldarf, A. Shaker

Scientific adviser – D.Sc., professor I.A. Bessmertny

Annotation

This article discusses the acceleration of the convolutional neural networks (CNN) training on a graphics processing unit (GPU) using the CUDA Framework. CNN is a class of deep neural networks most commonly used for analyzing visual images. These networks are large, complex and require significant computational resources for training and evaluation. The results of this work show that the accuracy values of the trained network on the GPU and the CPU are close to each other and can reach 93%. In addition to maintaining the accuracy, CNN training with a large batch size can run faster on the GPU than the CPU. Moreover, the implementation of asynchronous copy to memory can significantly reduce the training time compared to using the standard memory copy between GPU and CPU.

Keywords

Graphics processing unit, machine learning, convolutional neural networks, central processing unit, C ++, CUDA.

Neural networks are very good at pattern recognition tasks with a large amount of training

data. For image classification, such as optical character recognition, convolutional neural networks provide state-of-the-art features. CNN is used for handwriting recognition, object detection and in non-vision applications such as semantic analysis. However, the problem of CNN is that training the network can take a very long time, therefore speeding up the training process is a very interesting topic. The huge number of floating-point operations and the relatively low data transfer rate at each stage of training make this task well suited for GPGPU (general-purpose GPU). The GPU uses hundreds of cores to perform time-sensitive calculations on thousands of pixels simultaneously, allowing it to display almost any type of image, including complex 3D graphics.

Despite the great development of Deep Neural Networks, the training time remains very slow, particularly in compute-intensive algorithms involving plenty of complex data sets. Dharmajee Rao D.T.V. and Ramana K.V. have modified the Backpropagation Algorithm (BPA) and Boltzmann Machine Algorithm (BMA) by using CUDA parallel matrix multiplication to accelerate the learning of DNN on many-core GPU systems [1]. Their results showed that CUDA matrix multiplication performs very much faster than other standard implementations. Shunlu Zhang et al. proposed a parallel Neural Network training technique using CUDA on GPUs [2]. Their results showed that the proposed technique achieves higher efficiency than traditional CPU implementation of Backpropagation training. However, existing work has not taken into consideration the importance of optimizing memory access between the GPU and the CPU. Many hidden factors within the framework could observably affect the final GPU memory consumption, including allocation policy, internal usage and implementation choice. This work aims to improve the training speed of the convolutional neural networks by optimizing memory access and using the graphics processor instead of using the central processor.

The traditional approach for two-dimensional pattern recognition is based on a feature extractor whose output is fed into a neural network. The feature extraction function is usually static and independent of the neural network. Finding a good feature extractor is not an easy task because it is not a part of the training procedure and therefore cannot adapt to the network topology. CNN makes this complex task part of the network and acts as a trainable feature extractor with some degree of shift, scale, and deformation invariance [3]. The CNN consists of three different types of layers: convolutional layers, subsampling layers (optional), and fully connected layers. Convolutional layers are responsible for extracting an object (edges, corners, endpoints or non-visual elements). The exact location of the detected objects is less important than the relative position to the other objects. The purpose of the subsampling layer is to reduce the map size of the previous layer. A fully connected layer is an ordinary multilayer perceptron. The purpose of this layer is to classify the results of the convolution process.

CUDA is a parallel computing platform and application programming interface model created by NVIDIA. CUDA extensions cover instructions for enabling multithreading and accessing various types of memory on the GPU. Each CUDA device consists of a specific number of Streaming Multiprocessors (SM). Each SM contains eight Shader Units (SUs), a Multithreaded Instruction Unit and on-chip Shared Memory that can be accessed by all eight SUs. Each SU can perform one multiplication and one MAD operation each clock cycle, but the entire SM can only execute the same piece of code on different data using multiple threads. This parallel computing architecture is called SIMT (Single Instruction, Multiple Threads). When starting a function on the GPU, the system creates a certain number of threads defined by the programmer. The collection of all these streams is called a grid. The grid consists of a specific number of thread blocks. These blocks are arranged in a unique two-dimensional manner on the grid. Each block is assigned to one SM. Moreover, streams are arranged in a unique 3D array within the block. Each thread has access to different kinds of memory. Using the most appropriate memory correctly is one of the most effective means of improving performance [4].

The implementation of this work was carried out in three stages. The first stage is the design of the neural network model. The second stage is the implementation of the neural network model by writing a program in C ++ to train CNN on the GPU and CPU. The third stage is the optimization of training the neural network on the GPU. Moreover, the results were evaluated by comparing the training time and the accuracy of the neural network.

The convolutional neural network that will be trained consists of two convolutional layers and two fully connected layers. The input layer of the CNN will be the MNIST handwritten numbers database, which has a training set of 60000 examples and a test set of 10000 examples. The MNIST database contains binary images of handwritten numbers. Each image sample has a size of 28x28 pixels [5]. The first convolutional layer has 20 filters, each of which has a size of 5x5 pixels, with the rectified linear units (ReLU) function. The second convolutional layer has 50 filters, each of which has a size of 5x5 pixels, with the rectified linear units (ReLU) function. The first fully connected layer has 2450 nodes with the rectified linear units (ReLU) function. The second fully connected layer (output) has 10 nodes with the softmax function.

The CUDA C ++ program was implemented using Microsoft Visual Studio under the Microsoft Windows system. The implementation was done using the CUDA Framework on (NVIDIA GTX 850m with 4 GB memory) GPU and (Intel 64-bit i7-2.50 GHz with 16 GB memory) CPU.

To evaluate the accuracy of the trained network, the accuracy values for the test data on the CPU and the GPU will be compared. The accuracy values that the program outputs every 1000 iterations with a batch size of 600 are presented on the fig. 1.

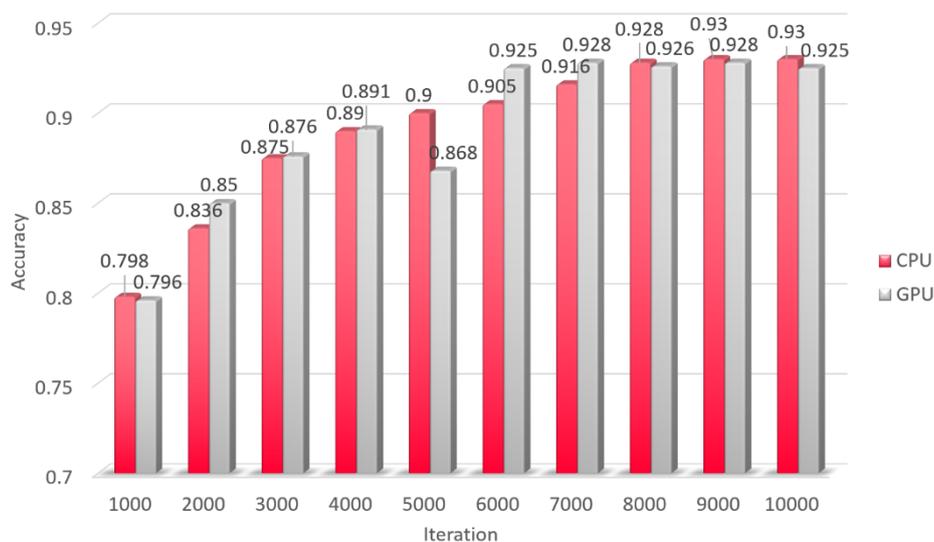


Fig. 1. CNN accuracy on CPU and GPU

According to the results of the trained network, it was revealed that the accuracy values for the test data on the CPU and GPU are close to each other. This value for 10,000 iterations is 0.93, and this is a good value.

In the convolutional layers and the first fully connected layer, the implementations use various functions to multiply matrices in the GPU and CPU. Matrix multiplication and memory copying are the main parts to speed up the GPU training process. In the GPU part of matrix multiplication, a 32x32 block size was used. The GPU implementation using CUDA uses functions from NVIDIA's CUBLAS library. Each kernel function performs one mathematical operation, such as multiplying a matrix by a vector or summing all the elements in a vector. The values of the training process time depending on the batch size with the number of iterations equal to 100 are presented on the fig. 2.

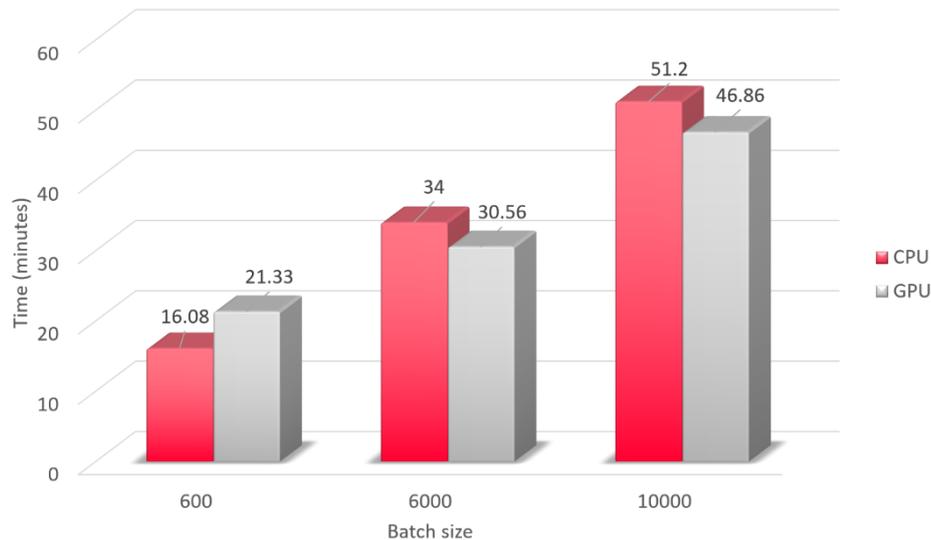


Fig. 2. CNN training time on CPU and GPU

Comparing the training time of different implementations, we can see that the use of the GPU increases the training speed with large batch size. The efficiency may increase when using a larger image size.

Data transfer between the CPU and GPU using standard CUDA memory copy blocks the control, which means, control is returned to the CPU thread only after the data transfer is completed. The Asynchronous CUDA memory copy is a non-blocking variant in which the control is immediately returned to the CPU thread. The asynchronous transfer version requires an additional argument, the thread ID. A thread is simply a sequence of operations that are performed in order on a device. Operations in different threads can alternate, and in some cases overlap to hide data transfer between the CPU and GPU. The asynchronous transfer allows to overlap data transfers with calculations to accelerate the performance. The training time values using asynchronous copying and standard copy are presented on the fig. 3.

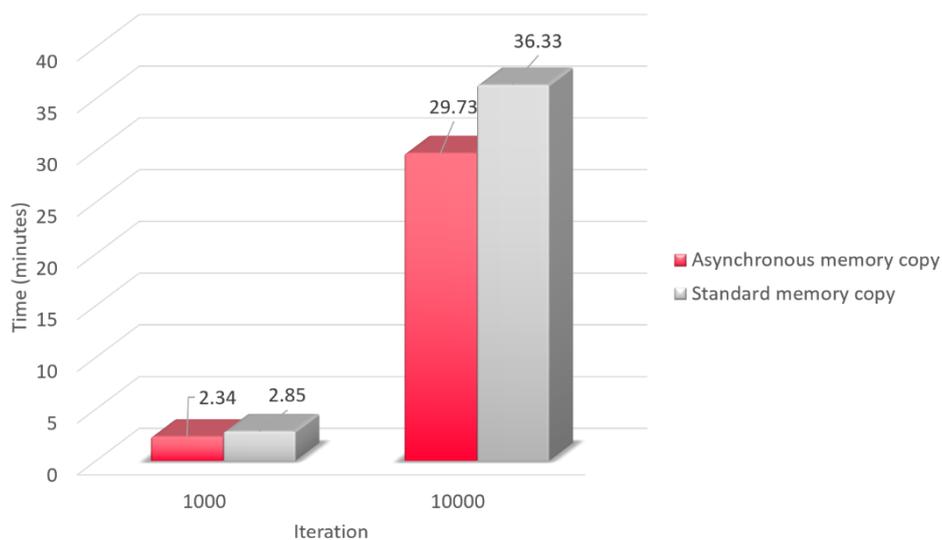


Fig. 3. CNN training time using asynchronous and standard memory copy

After comparing the training time of GPU implementations, it was found that implementing asynchronous copy to memory can significantly reduce the training time compared to using a GPU without optimization. This improvement in training time using

asynchronous copy-to-memory is due to the fact that this implementation allows the program to overlap data transfer and computation.

The results of this work show that the accuracy values of the GPU and CPU implementations are close to each other and can reach 93% after training the network when performing 10,000 iterations. Executing on a GPU with a large batch size can accelerate the training time compared to executing on a CPU. Moreover, this acceleration will increase when using a larger input size. Thus, implementing neural network training on a GPU will be more efficient than on a CPU when the data or network size is large enough.

The use of GPUs in training neural networks leads to a significant acceleration of the training process due to the presence of a large number of cores in GPUs. The implementation of asynchronous copy to memory can reduce the training time by 18% compared to using a GPU without optimization.

Further research is needed to provide the ability to run the neural network training process on multiple GPUs.

References

1. Rao D.T.V. Dharmajee and Ramana K.V. Accelerating Training of Deep Neural Networks on GPU using CUDA // International Journal of Intelligent Systems and Applications. 2019. V. 11. № 5. P. 18–26.
2. Zhang S., Gunupudi P. and Zhang Q. Parallel Back-Propagation Neural Network Training Technique Using CUDA on Multiple GPUs // 2015 IEEE MTTT International Conference on Numerical Electromagnetic and Multiphysics Modeling and Optimization (NEMO). 2015. P. 1–3.
3. LeCun Y., Bottou L., Bengio Y. and Haffner P. Gradient- Based Learning Applied to Document Recognition // Proceedings of the IEEE. 1998. V. 86. № 11. P. 2278–2324.
4. Ghorpade J., Parande J., Kulkarni M., Bawaskar A. GPGPU Processing In Cuda Architecture // Advanced Computing: An International Journal (ACIJ). 2012. V. 3. № 1. P. 105–120.
5. Kussul E. and Baidyk T. Improved Method of Handwritten Digit Recognition // 15th International Conference on Vision Interface. 2002. P. 192–197.



Waddah Ali

ITMO University,
Year of Birth: 1994
faculty of control systems and robotics,
group №7761,
specialty: 05.02.05 – Robots, Mechatronics and Robotics systems,
e-mail: waddahkh.ali94@gmail.com



Sergey Kolyubin

ITMO University,
faculty of control systems and robotics,
Doctor of Technical Sciences, Professor
e-mail: s.kolyubin@itmo.ru

УДК 621.865.8

EMG DRIVEN UPPER LIMB MUSCULOSKELETAL MODEL FOR MUSCLE FORCE ESTIMATION

W. Ali

Scientific Supervisor – Doctor of Technical Sciences, prof. S.A. Kolyubin

The work was performed within the framework of the research project №620164 «Robotics and Artificial Intelligence».

Annotation

This work states the estimation of generated muscle forces while contractions/extension during several tasks depending on muscle activation and contraction dynamics modeling from recorded (electromyography) EMG signals. The first step was to build the muscle activation dynamics model which includes processing of the recorded raw EMG data for 5 healthy subjects, 3 males and 2 females, to get the muscle activation function which is the input to the next step, building the muscle contraction dynamics depending on Hill-type model after defining the necessary muscle parameters from literature and model parameters.

Keywords

EMG signals, Hill-type model, activation function, contraction dynamics, isometric contraction, optimal muscle fiber length, maximum contraction force, pennation angle.

Recent technological advances in hardware design for robotic platforms have enabled the implementation of various management techniques to improve interaction with humans and the unstructured environment.

The idea of depending on human cognition as a sensory system to drive and control the robot power attracted the interest of researchers which led them to invent a new methodology for driving and planning the motion of robotic manipulators, i.e. the skill transfer learning.

The most famous and popular interfaces for recording the human activities to transfer them to robotic manipulators are Physical interaction, teleoperation, vision and wearable devices, and human physiological signals.

The human physiological signals were chosen to be the method of recording human

muscle contractions during several daily tasks using noninvasive EMG electrodes, or sEMG-surface Electromyography electrodes. sEMG was used to manipulate a series of tasks consisting of tracking/recognition/grasping of an object [1], so that was our motivation to be adopted in our study (fig. 1).

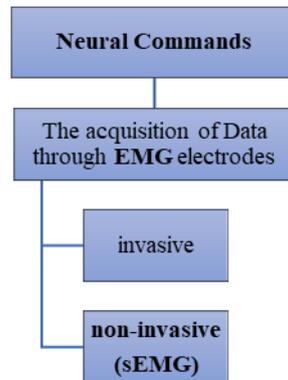


Fig. 1. EMG data acquisition

We used forward neuromuscular modeling [2] as a method to carry out the designed algorithm for muscle estimation, as long as muscle activation and contraction dynamics are considered to be the first parts of the whole model as shown in fig. 2.

The neuromuscular model takes neural commands as an input to estimate the muscle forces, joint moments, velocities and trajectories respectively.

Raw EMG signals represent the record of the input neural commands (EMG_i) that need to be processed to transform them to the activation function, a_i using the muscle activation dynamics model.

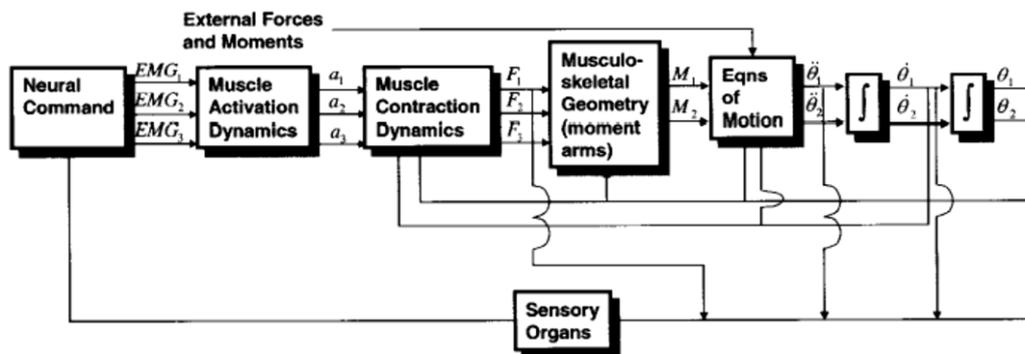


Fig. 2. Forward dynamics approach to studying human movement

First step of processing the EMG signals was to be filtered by high-pass filtering (low frequency noise) zero-phase filter (to delete any DC offsets) and the cutoff frequency between 5-30 HZ which is 4th order Butterworth filter. Next, Rectifying the EMG signal where the absolute values of each point are taken to produce rectified EMG signals, then normalizing the EMG signals by dividing them by the peak rectified EMG values that are obtained during a maximum voluntary contraction (MVC) followed by applying a low-pass filter to the resultant signals.

The rectified EMG signals should then be low-pass filtered [2] because the muscle

naturally acts as a filter and we want this to be characterized in the EMG-force transformation. That is, although the electrical signal that passes through the muscle has frequency components over 100 Hz, the force that the muscle generates is of much lower frequencies (e.g., muscle force profiles are smoother than raw EMG profiles).

To express the muscle activation dynamics we used the formulation in eq. 1 that is simple and yields adequate solutions [3]:

$$a(t) = \frac{e^{Au(t)} - 1}{e^A - 1} \quad (1)$$

where A is the nonlinear shape factor. Here the nonlinear shape factor, A , is allowed to vary between -3 and 0 , with $A = -3$ being highly exponential and $A = 0$ being a linear relationship, while $u(t)$ is the neural activation to which the EMG signals were mapped using second order differential equation.

Fig. 3 illustrates the transformation from raw EMG data to muscle activation function.

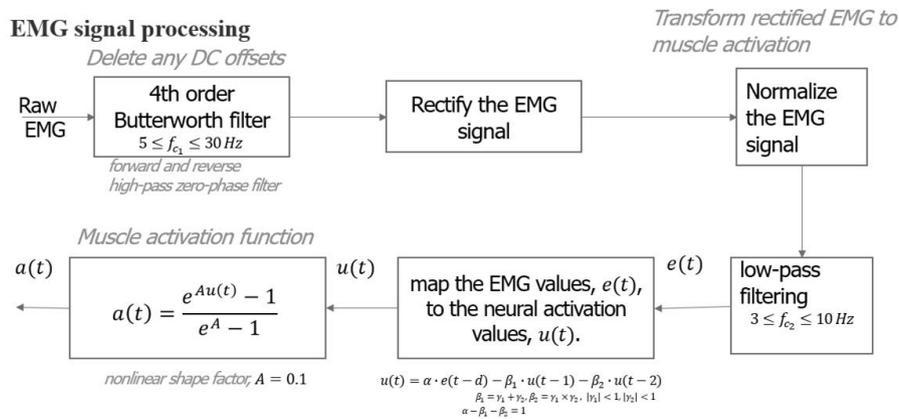


Fig. 3 Muscle Activation Dynamics

For muscle contraction modeling we adopted Hill-type model which assumes the general arrangement for a muscle-tendon model has a muscle fiber in series with an elastic or viscoelastic tendon (fig. 4A). The muscle fiber also has a contractile component in parallel with an elastic component (fig. 4B).

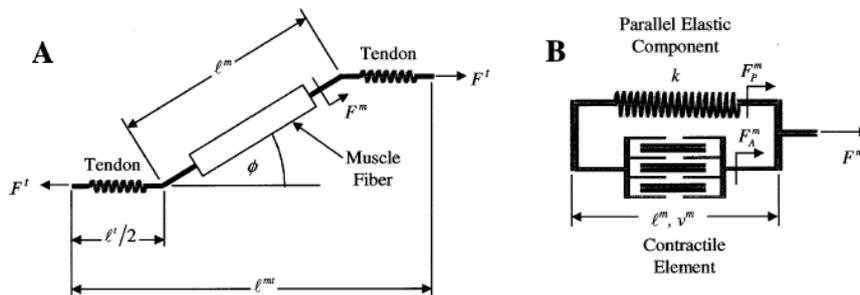


Fig. 4. Hill-type model

The Hill-type muscle model is used to estimate the force that can be generated by the contractile element of the muscle fiber, with the general form of the function given by

$$F^m(t) = f(l)f(v)a(t)F_0^m \quad (2)$$

where $F_m(t)$ = time varying muscle fiber force, $f(v)$ = normalized velocity dependent fiber force; $f(\ell)$ = normalized length dependent fiber force; $a(t)$ = time varying muscle activation; and F_m = maximum isometric muscle fiber force.

Tabl. 1 illustrates the model parameters and inputs.

$$F^{mt}(\theta, t) = Ft = f(a, l^{mt}, v^{mt}, F_o^m, l_o^m, l_s^t, \phi_o) = [F_A^m + F_P^m] \cos(\phi)$$

$$= [f_A(l) f(v) a(t) F_o^m + f_p(l) F_o^m] \cos(\phi). \quad (3)$$

Table 1

Hill-type model parameters and inputs

Model Parameters		Model Inputs	
		a(t)	Muscle activation function
		ℓ^{mt}	Muscle-tendon length
$\phi(t)$	Pennation angle	F_o^m	Maximal isometric muscle force
$\ell^m(t)$	Muscle fiber length	ϕ_o	Pennation angle at optimal fiber length
$f_A(l)$	Active force-length relation	ℓ_o^m	Optimal fiber length
$f_p(l)$	Passive force-length relation	ℓ_s^t	Tendon slack length
$f(v)$	Force-velocity relation	v_o^m	Maximal fiber contraction velocity

The modeling procedure is shown in fig. 5.

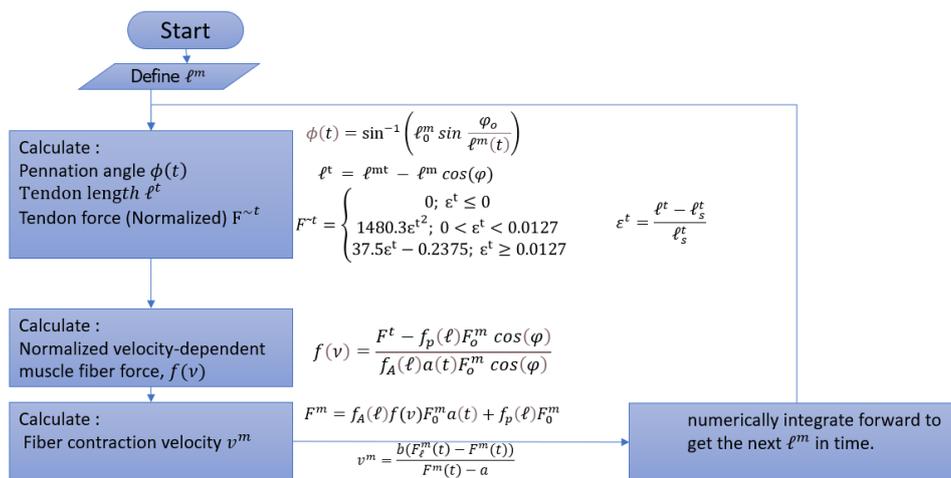


Fig. 5 Mathematical implementation of Hill-type model

To implement the results of experiments depending on the built model, The data were collected at a sampling rate of 500 Hz, using as a programming kernel the National Instruments (NI) Labview.

The signal was taken from 2 differential EMG Sensors and transmitted to a 2-channel EMG system by Delsys Bangolia Handheld EMG Systems[4]. The used hardware was an NI analog/digital conversion card NI USB-009, mounted on a PC.

There were two forearm surface EMG electrodes Flexor Carpi Ulnaris and Extensor Carpi Radialis, Longus and Brevis held in place by elastic bands and the reference electrode in the middle (see fig. 6).

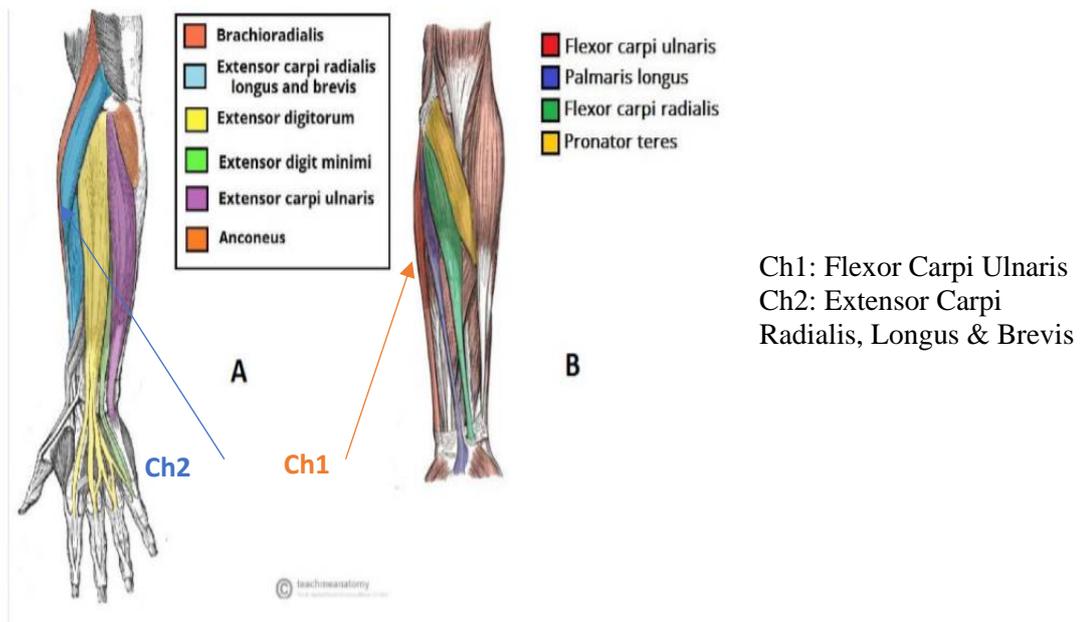


Fig. 6. surface EMG electrode localization on forearm

The subjects were asked to perform repeatedly the following six movements as shown in fig. 7.

- spherical: for holding spherical tools,
- tip: for holding small tools,
- palmar: for grasping with palm facing the object,
- lateral: for holding thin, flat objects,
- cylindrical: for holding cylindrical tools,
- hook: for supporting a heavy load.

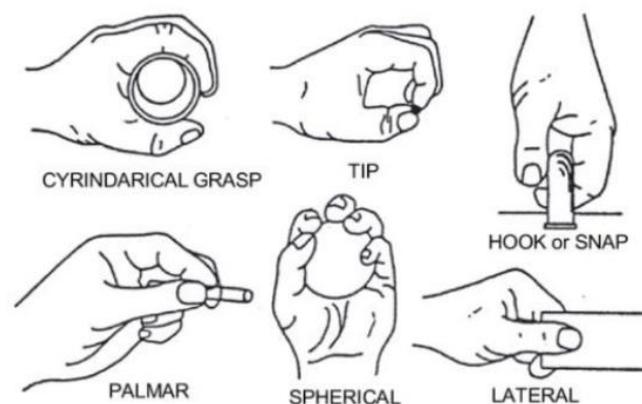


Fig. 7. the performed movements during the experiment

The recorded Raw EMG data[5] and the processing steps to transform to the activation

function are shown in fig. 8.

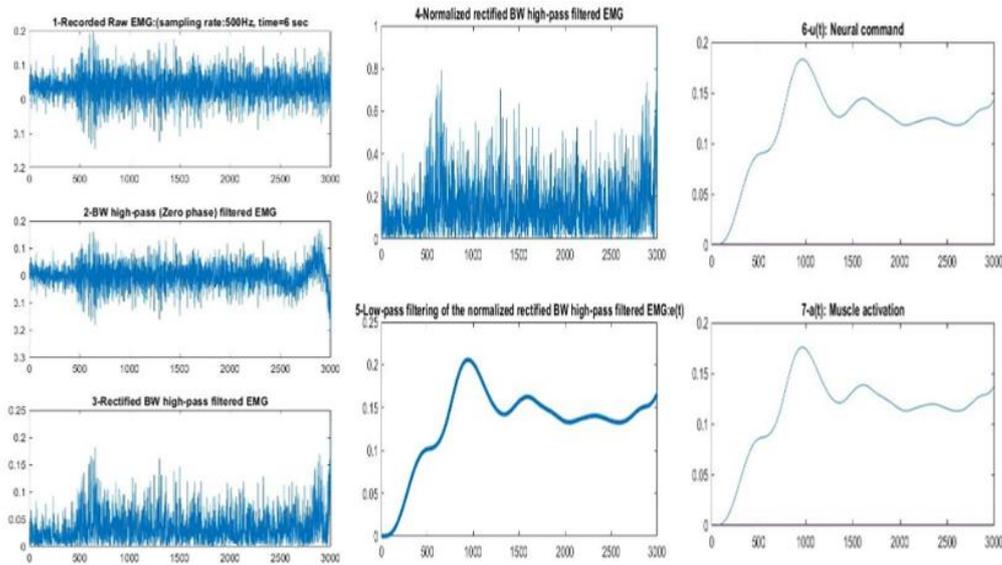


Fig. 8 represent recording EMG signals from Ch1 for cylindrical task which is done by a subject (male 1).

The muscle parameters that are necessary for the model are implemented in tabl. 2.

Table 2

Muscle parameters

Muscle parameters	Flexor Carpi Ulnaris (FCU)	Extensor Carpi Radialis Longus and Brevis (ECRL & B)
$F_0^m(N)$	128.9	304.9
$l_0^m(cm)$	5.1	8.1
$l_s^t(cm)$	26.5	22.4
$\phi(^{\circ})$	12	0
$r_{avr}(cm)$	1.9	-1.8

In tabl. 3. The estimated muscle forces for both Flexor Carpi Ulnaris and Extensor Carpi Radialis Longus and Brevis during the 6 daily hand grasps that are discussed are detailed.

Table 3

Estimated muscle forces (FCU and ECRL&B) for the discussed 6 daily tasks

Task	$F^m(N)$		
	Range	Flexor Carpi Ulnaris	Extensor Carpi Radialis Longus and Brevis
Cylindrical grasp	Min	0.8773	2.07505
	Max	5.7172	11.6535
	Final	5.7096	11.6286

Task	F ^m (N)		
	Range	Flexor Carpi Ulnaris	Extensor Carpi Radialis Longus and Brevis
Spherical	Min	0.8773	2.07505
	Max	5.7178	11.6544
	Final	5.7113	11.6422
Tip	Min	0.8773	2.07505
	Max	5.7218	11.6595
	Final	5.7063	11.6337
Palmar	Min	0.8773	2.07505
	Max	5.7198	11.6622
	Final	5.7096	11.6346
Lateral	Min	0.8773	2.07505
	Max	5.7199	11.6498
	Final	5.7087	11.6341
Hook	Min	0.8773	2.07505
	Max	5.7221	11.6505
	Final	5.7065	11.6366

References

1. Liu Y. et al., Skill transfer learning for autonomous robots and human–robot cooperation: a survey. 2020. 128: p. 103515.
2. Buchanan T.S., et al., Neuromusculoskeletal modeling: estimation of muscle forces and joint moments and movements from measurements of neural command. 2004. 20(4): p. 367-395.
3. Lloyd D.G. and T.F.J.J.o.b. Besier, An EMG-driven musculoskeletal model to estimate muscle forces and knee joint moments in vivo. 2003. 36(6): p. 765-776.
4. Incorporated, D., Bagnoli™ EMG System User’s Guide: p.13-17.
5. Sapsanis Ch., A.T.a.G.G., ANeMoS Lab, School of Electrical and Computer Engineering, University of Patras, KIC Laboratory, Department of Informatics and Telecommunications Technology, Technological Educational Institute of Epirus: [web] <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/sEMG+for+Basic+Hand+movements> (дата обр. 3.12.2020).



Сергеев Алексей Сергеевич

Год рождения: 1990
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники, магистрант
направление подготовки: Системы и технологии
цифрового производства 2020,
e-mail: alex.sergeev115@gmail.com



Алифанова Ирина Евгеньевна

Год рождения: 1990
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
аспирант,
направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии,
e-mail: sherbairina@mail.ru



Кинжагулов Игорь Юрьевич

Год рождения: 1983
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., преподаватель,
e-mail: kinzhiki@mail.ru

УДК 620.172.2

АКУСТИЧЕСКАЯ ТЕНЗОМЕТРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.С. Сергеев, И.Е. Алифанова

Научный руководитель – к.т.н. И.Ю. Кинжагулов

Работа выполнена в рамках темы НИР-ФУНД №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

Работа посвящена вопросам акустической тензометрии технических объектов. Предложен метод акустической тензометрии с использованием головной ультразвуковой волны и раздельно-совмещенного оптико-акустического преобразователя. Приведены факторы, которые необходимо учитывать при использовании предложенного метода. Проведена оценка вклада каждого из этих факторов в конечный результат измеренных механических напряжений (МН).

Ключевые слова

Акустическая тензометрия, головные ультразвуковые волны, неопределенность измерений.

Измерение МН является актуальной задачей при производстве, эксплуатации и рециклинге ответственных и дорогостоящих изделий специального машиностроения с целью обеспечения надежности, снижения затрат на производство, повышения технологичности, а также при планировании и оценке результативности компенсирующих мероприятий по снижению МН. Так как в настоящее время для многих задач нет возможности достоверно установить величину и направление МН расчетным путем, то информация о действительном напряженно-деформированном состоянии конструкции необходима для дальнейшего проектирования современных изделий. К настоящему времени наиболее широкое применение нашли следующие методы измерений МН: рентгеновские; магнитные; нейтронной стресс-дифрактометрии; ультразвуковые и другие.

Акустическая тензометрия основана на изменении скорости УЗВ различных мод в зависимости от знака и величины напряженности на участке прохождения волны. Это явление называется акустоупругостью. В ультразвуковой структурометрии и тензометрии измеряют и используют скорости распространения продольных, сдвиговых волн различной поляризации, поверхностных, головных

В рамках данной работы рассматривается метод акустической тензометрии с использованием головной ультразвуковой волны и раздельно-совмещенного оптико-акустического преобразователя (ОАП). Данный метод нашел применение при контроле МН в околошовной зоне сварных соединений [1] и при контроле распределения МН в толстостенных трубах [2].

Измерение скорости распространения головной УЗВ производится с помощью оптико-акустического раздельно-совмещенного преобразователя (ОАП), схема которого приведена на рис. 1 [3].

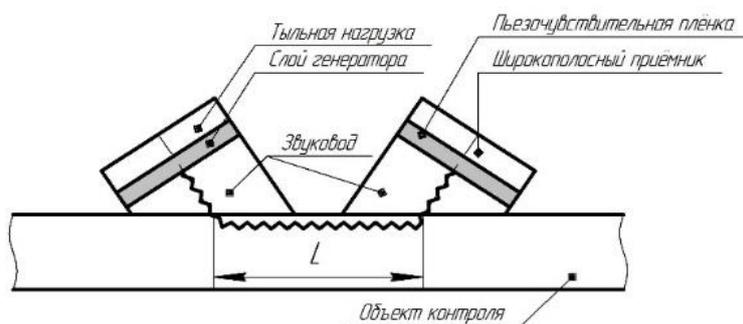


Рис. 1. Конструктивная схема ОАП

Расчет МН производится по формуле:

$$\sigma = K_v \frac{K_T(T - T_0) + v - v_0}{v_0} \quad (1)$$

где v_0 – скорость распространения головной УЗВ в материале объекта контроля в ненапряженном состоянии ($\sigma = 0$), измеренная при температуре T_0 ;

v – скорость распространения головной УЗВ в материале объекта контроля в напряженном состоянии ($\sigma \neq 0$), измеренная при температуре T ;

K_v – коэффициент упругоакустической связи (КУАС) – связи между акустическими параметрами и механическими напряжениями [4];

K_T – коэффициент термоакустической связи (КТС) – связи между акустическими параметрами и температурой окружающей среды, объекта контроля и ОАП.

Таким образом, МН не измеряются непосредственно, а источниками неопределенности при измерении МН являются результаты измерений скорости распространения головной УЗВ, результаты определений КУАС и КТС.

В свою очередь, скорость распространения головной УЗВ выражается как путь L , равный базе ОАП, пройденный головной УЗВ за время t , за вычетом задержки Δt - времени прохождения УЗВ в призме ОАП:

$$v = \frac{L}{t - \Delta t}. \quad (2)$$

Для определения параметров ОАП был разработан и изготовлен комплект настроечных образцов (КНО) (рис. 2), характеристики которого приведены в табл. 1. Материал образцов из КНО выбран таким образом, чтобы скорость распространения УЗВ в материале образцов лежала в диапазоне скорости распространения УЗВ в материале предполагаемых объектов контроля (технических объектов).

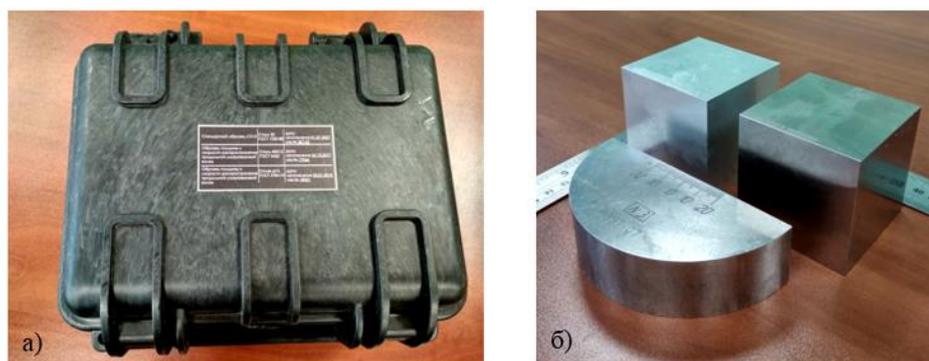


Рис. 2. Общий вид КНО

Таблица 1

Состав и характеристики КНО

Наименование образца	Материал	Скорость распространения УЗВ	
Стандартный образец СО-3	Сталь 20 ГОСТ 1050-88	5900	
Образец толщины и скорости распространения продольной ультразвуковой волны	Сталь 40X13 ГОСТ 5632	Направление А	6062
		Направление В	6067
		Направление С	6062
Образец толщины и скорости распространения продольной ультразвуковой волны	Сплав Д16 ГОСТ 4784-74	Направление А	6375
		Направление В	6349
		Направление С	6358

Для определения параметров коэффициентов КУАС и КТС разработан и изготовлен комплект образцов-имитаторов (рис. 3). Образцы-имитаторы представляют

собой стандартные пропорциональные образцы [5-7], изготовленные из того же материала и прошедшего все те же термо-механические обработки, что и объект контроля.



Рис. 3. Комплект образцов-имитаторов

Коэффициент КУАС был определен при проведении испытаний на растяжение образцов-имитаторов с одновременным измерением скорости распространения УЗВ. Регрессионная зависимость скорости распространения УЗВ от величины МН приведена на рис. 4.

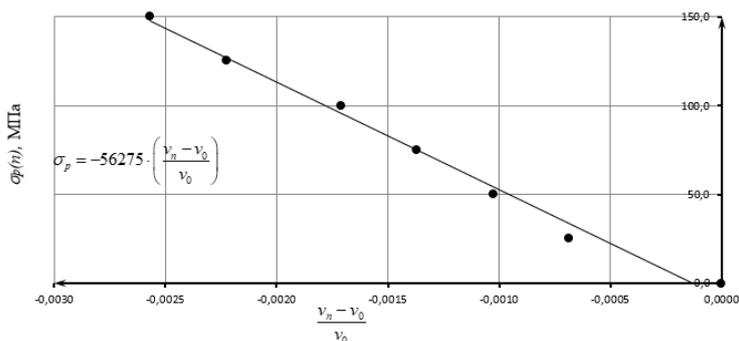


Рис. 4. График зависимости скорости распространения УЗВ от МН, действующих в материале образцов-имитаторов

Коэффициент КТС был определен при проведении измерений скорости распространения УЗВ в материале образца-имитатора в термокамере при различной температуре (рис. 5).

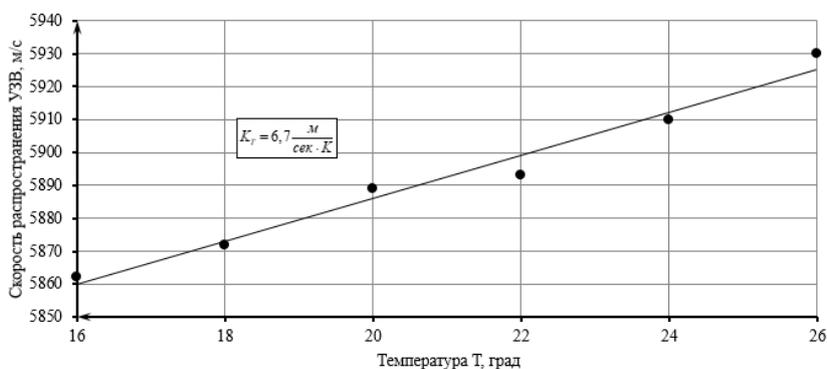


Рис. 5. График зависимости скорости распространения УЗВ от температуры ОАП и калибровочного образца

После получения всех исходных данных была проведена оценка неопределенности измерений МН [7]. При оценке неопределенности измерений МН в качестве модельного уравнения выступает уравнение (1). На рис. 6 приведена диаграмма Исикавы вкладов в неопределенность измерений МН.

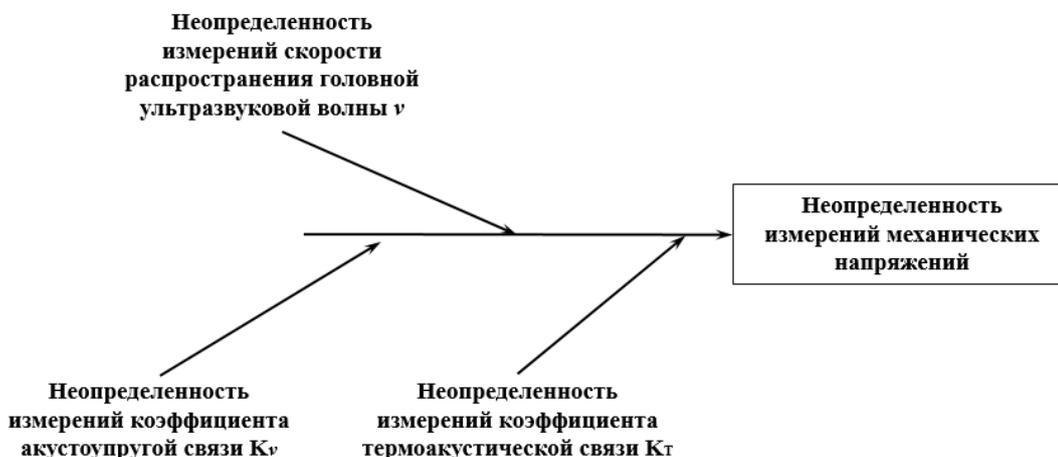


Рис. 6. Диаграмма Исикавы вкладов в неопределенность измерений МН

На рис. 7 приведен график относительного вклада входных величин в неопределенность измерений выходной величины — $\frac{u_{ВХi}}{u_{ВЫХ}}$.

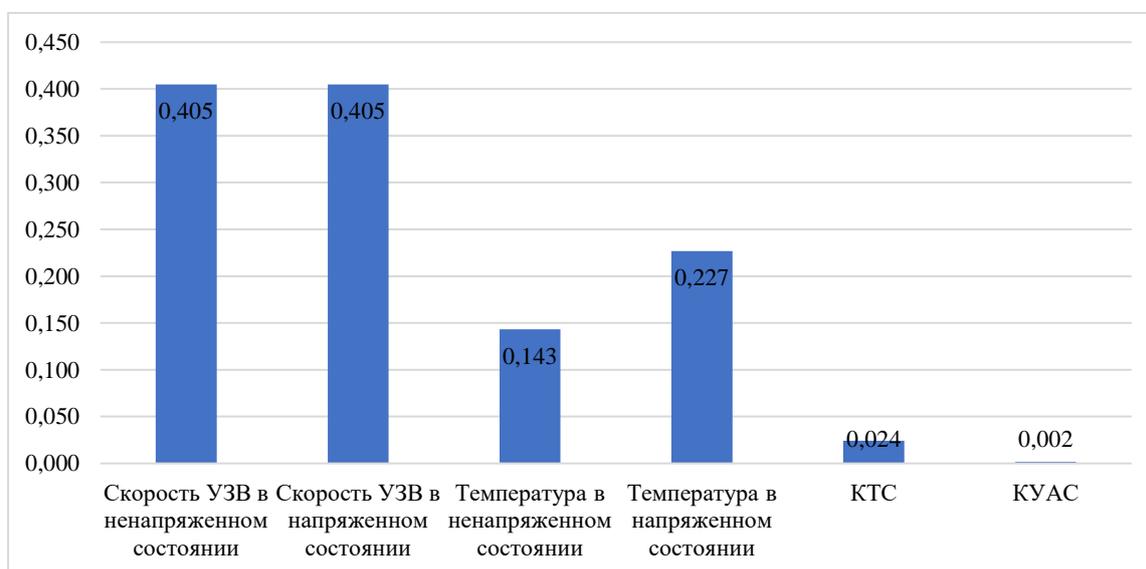


Рис. 7. График относительного вклада входных величин в неопределенность измерений МН

В результате расчета расширенной неопределенности измерений МН было установлено, что ее величина зависит от величины измеряемых МН, как показано на рис. 8.

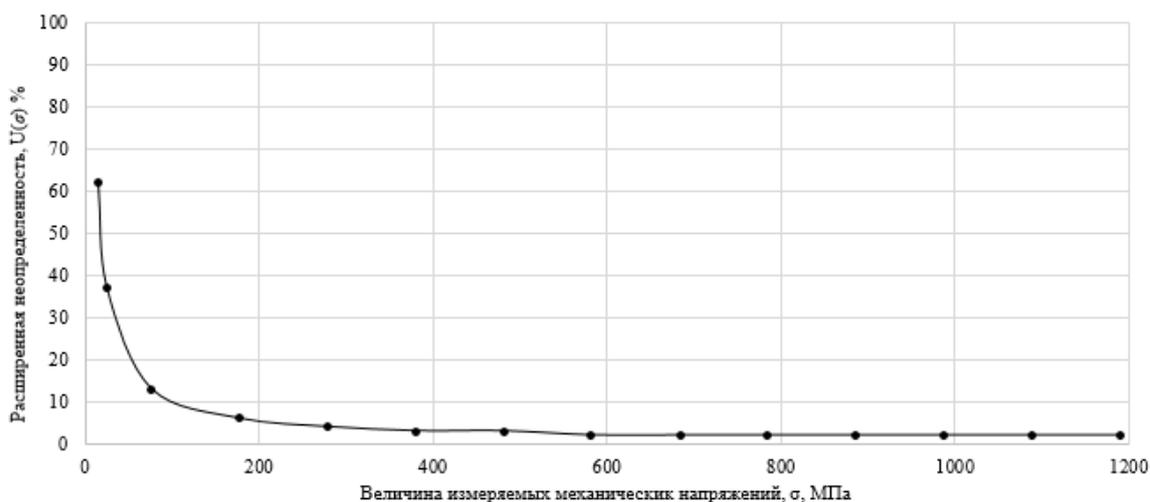


Рис. 8. Зависимость расширенной неопределенности от величины измеряемых МН

Таким образом, был рассмотрен метод акустической тензометрии с использованием головной УЗВ с помощью раздельно-совмещенного ОАП. Показана актуальность и применимость метода для контроля МН технических объектов. Предложена методика оценки неопределенности измерений МН. Предложенный подход к оценке неопределенности измерений МН может быть полезен при разработке требований к используемым средствам измерений, настроечным образцам и объектам контроля, а также при разработке методик контроля механических напряжений ультразвуковым методом с использованием ОАП.

Литература

1. Быченко В.А., Беркутов И.В., Майоров А.Л., Ильин А.В., Кириенко В.В., Прохорович В.Е., Чекмарева М.А. Контроль остаточных напряжений в околошовной зоне сварного шва // В мире неразрушающего контроля. 2018. Т. 21. № 4. С. 50-53.
2. Фёдоров А.В., Быченко В.А., Беркутов И.В., Алифанова И.Е. // Техно-технологические проблемы сервиса. 2020. № 4 (54). с 26-31.
3. Karabutov A.A. Determination of uniaxial stresses in steel structures by the laser-ultrasonic method / [Karabutov A.A., Podymova N.B., Cherepetskaya E.B.] // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics – M A I K Nauka – Interperiodica (Russian Federation). 2017. Vol.58. No.3. pp. 503-810. UDC 534.212; 534.08.
4. ГОСТ Р 55043-2012 Контроль неразрушающий. Определение коэффициентов упругоакустической связи. Общие требования. Нац. стандарт РФ – Введ. 01.01.2014.
5. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. Межгосударственный стандарт – Введ. 01.01.1986.
6. Н.Е. Никитина. Акустопругость. Опыт практического применения. / Н.Новгород: ТАЛАМ. 2005. 208 с.
7. ГОСТ 34100.3-2017 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Межгосударственный стандарт – Введ. 01.09.2018.



Алюков Данила Юрьевич
Университет ИТМО,
факультет безопасности
информационных технологий,
студент группы №N3252,
направление подготовки: 23.03.03 – Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов,
e-mail: d@alyukov.net

УДК 004.052.42

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ АУДИТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ СКРЫТОМУ ДЕСТРУКТИВНОМУ ИНФОРМАЦИОННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ В РОЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Д.Ю. Алюков

Аннотация

В работе рассмотрен рой беспилотных летательных аппаратов, взаимодействие элементов которого осуществлено в децентрализованной системе. Для противодействия СДИВ разработаны и описаны методы для внешнего аудита путём проверки информации с бортовых приборов, предоставляемых агентами, и представлена модель общей формулы, результат которой – решение, продолжать ли дальше информационное взаимодействие.

Ключевые слова

Беспилотные летательные аппараты, функциональная безопасность, информационное взаимодействие, деструктивное информационное воздействие, внешний аудит.

Беспилотные летательные аппараты (далее БПЛА) имеют широкое применение во многих задачах. Во-первых, в тех местах, где нахождение человека может быть опасным, например, на производстве, связанным с работой с радиоактивными веществами. Во-вторых, БПЛА используют в военных целях, в разведке. В-третьих, видеосъёмка, доставка и т.д. БПЛА выполняют многие задачи быстрее, чем человек.

Рой БПЛА же призван ещё более сократить время на выполнение задач. Цель роя – выполнить все задачи. В рассматриваемой системе в качестве задачи рассматривается перенос объекта с заранее известной координаты до базы, определить выполнение задания можно только исходя из сообщений от агентов, выполнивших задание, т.е. по исполнению задания агент роя должен уведомить об этом остальных участников. Для взаимодействия между агентами роя рассматривается децентрализованная система, т.к. в такой системе не существует «базы», нарушение функционирования которой привело бы к нарушению работы роя, а также нарушение функционирования одного агента никак не сказывается на взаимодействии между другими агентами.

Для реализации такого роя необходимо обеспечить должную защиту от скрытого деструктивного информационного воздействия других участников роя. Для этого участники роя пересылают пакеты с данными, полученными с их бортового оборудования: батареи, лидара, системы определения местоположения и бортового компьютера.

В таблице представлен состав пакета.

Состав пакета

Данные	Описание	Значение
$state_{technical}$	Техническое состояние	0 – тех. состояние неудовлетворительное; 1 – тех. состояние удовлетворительное
$state_{location}$	Местоположение	Координаты точки x, y, z
$state_{energy}$	Энергия	Значение в диапазоне [0..1]
$state_{environment}$	Данные об окружении	3-хмерный массив значений, где индексы – координаты x, y, z , а значение в заданной координате: 0 – препятствие не обнаружено; 1 – препятствие обнаружено; -1 – нет данных
$state_{action}$	Состояние выполняемого задания	Идентификатор выполняемого задания (-1, если не выполняет задание), состояние задания (0 – иду к цели, 1 – иду к базе)

Для проверки достоверности данных, передаваемых агентами, разработаны и представлены методы для обнаружения недостоверности показателей, основанный на своих данных и проверке соответствия показателей друг другу. Результат проверки агента каждым методом – число 1 (агент проверку прошёл) или 0 (агент проверку не прошёл).

Проверка агента на активность. Для корректной работы алгоритмов обнаружения СДИВ необходима достаточная периодичность получения пакетов и их актуальность. Если с последнего момента активности агента прошло больше заданного времени, то он считается нарушителем.

Соответствие данных об окружении требованиям. Для анализа окружения агенты используют лидар. Он имеет диапазон радиуса действия, вертикальный радиус обзора. Также лидар не может дать информацию об окружении за обнаруженным препятствием. Если проверяемый агент нарушает хотя бы одно из перечисленных требований на основе данных $state_{environment}$, результат проверки является отрицательным. Результат – переменная $lidar$.

Сверка данных об окружающей среде в пересекаемых областях. Если агенты находятся на таком расстоянии, что они имеют общую зону видимости, они могут определить фальсификацию данных об обнаруженных препятствиях. Результат – переменная $environment$.

Проверка на присутствие агента в окружении. Если проверяемый агент заявил о своём нахождении ($state_{location}$) в зоне видимости проверяющего агента, то если в данной точке не обнаружено препятствие, агент проверку $location_in_environment$ не проходит.

Проверка превышения максимально-возможной скорости. Имея время получения пакета и местоположение агента в этот момент времени ($state_{location}$), можно высчитать среднюю скорость. Если она превышает заданную максимальную скорость, результат проверки $speed$ отрицательный.

Расход батареи агента находится в допустимых значениях. Имея время получения пакета и заряд батареи агента ($state_{energy}$) в этот момент времени, можно высчитать средний расход батареи. Если он превышает заданное максимальное значение, результат проверки $cost$ отрицательный.

Проверка достаточности заряда батареи для выполнения задачи. Если агент отправился выполнять задание, на выполнение которого у него не хватит ресурсов, результат проверки $energy$ отрицательный.

Проверка на превышение времени допустимого выполнения задачи. Агент, основываясь на наборе данных об окружении, может определить время, необходимое для выполнения задания проверяемым агентом. Если проверяемый агент превышает время выполнения задания с некоторой погрешностью, результат проверки *technical* отрицательный.

Проверка возможности передачи пакета от заявленного местоположения адресата. Если пакет был доставлен напрямую, то можно рассчитать расстояние между заявленным местоположением проверяемого агента ($state_{location}$) и проверяющего. Если оно превышает максимальное расстояние, на котором возможно взаимодействие, результат проверки *location* отрицательный.

Время прохождения пакета по роу, оптимальность маршрута передачи пакетов в роу. Основываясь на алгоритмах передачи данных в роу, можно найти нарушение, которое отсылает на фальсификацию местоположения проверяемого агента. Результат проверки – переменная *mesh*.

Проверка на следование по маршруту в правильном направлении. Основываясь на алгоритмах построения маршрута, можно определить направление следования агента (к цели/от цели). Если значение проверяемого агента не совпадает с его заявленным $state_{action}$, он проверку *direction* не проходит.

Для объединения результатов отдельных методов в единый результат проверки была разработана модель общей формулы (1), где множители (2-6) связывают проверки с конкретными типами данных, в которых могла возникнуть фальсификация.

$$truth = truth_{technical} * truth_{location} * truth_{action} * truth_{environment} * truth_{energy}, \quad (1)$$

$$truth_{technical} = \frac{k_1 lidar + k_2 technical + k_3 mesh}{k_1 + k_2 + k_3} \quad (2)$$

$$truth_{location} = \frac{k_1 location + k_2 location_in_environment + k_3 speed + k_4 mesh}{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}, \quad (3)$$

$$truth_{action} = \frac{k_1 energy + k_2 direction}{k_1 + k_2}, \quad (4)$$

$$truth_{environment} = \frac{k_1 environment + k_2 lidar}{k_1 + k_2}, \quad (5)$$

$$truth_{energy} = \frac{k_1 cost + k_2 energy}{k_1 + k_2} \quad (6)$$

Таким образом, переменная *truth* принимает значение в промежутке [0..1]. Если его значение меньше 0.5, то проверяемый агент исключается из информационного взаимодействия, иначе информационное взаимодействие продолжается. Внешний аудит – одна из мер противодействия деструктивному информационному взаимодействию со стороны других агентов.



Бабич Ангелина Алексеевна

Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R42301,
направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления
движением и навигации,
e-mail: jalnina1974@yandex.ru



Драницына Елена Викторовна

Год рождения: 1985
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
доцент, доцент-практик,
АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор",
старший научный сотрудник,
e-mail: dranitsynaev@mail.ru

УДК 681.51

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ КАЛИБРОВКИ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

А.А. Бабич

Научный руководитель – к.т.н., доцент Е.В. Драницына

Аннотация

В статье систематически описаны существующие методы калибровки инерциальных измерительных модулей и перечисляются возможные преимущества и недостатки этих методов. Представлены математические модели сигналов и погрешностей бескарданной инерциальной навигационной системы (БИНС).

Ключевые слова

Калибровка, гироскоп, акселерометр, математическая модель, алгоритм, бескарданная инерциальная навигационная система.

Бескарданная инерциальная навигационная система (БИНС) – основа современных и перспективных бортовых навигационных устройств для мобильных объектов разного назначения.

При переходе на бескарданную технологию значительная доля нагрузки для обеспечения требуемой точности инерциальной системы приходится на чувствительные элементы (ЧЭ): акселерометры и гироскопы, которые в этом случае работают в большом диапазоне угловых скоростей и линейных ускорений. Точность БИНС определяется уровнем инструментальных погрешностей гироскопов и акселерометров. Поэтому калибровка инерциальных датчиков является неотъемлемой частью технологического процесса изготовления БИНС, так как обеспечивает реализацию потенциальной точности ЧЭ, на основе которых строится БИНС.

Целью работы является описание имеющихся методов калибровки инерциальных датчиков в составе БИНС, выявление основных преимуществ и недостатков.

Существующие в настоящее время методики калибровки инерциальных датчиков в составе БИНС по информации, используемой в качестве измерений, можно разделить на 4 группы: традиционные (по прямым измерениям), скалярные, по решению задачи ориентации, по навигационному решению БИНС [1-6]. Рассмотрим далее подробно каждый из них.

Калибровка по прямым измерениям

Традиционный процесс калибровки заключается в определении коэффициентов математической модели, связывающей выходные сигналы датчика, измеряемые на входе воздействиями, такие как смещение нуля, масштабные коэффициенты (МК), в том числе нелинейность, углы отклонения измерительных осей ЧЭ от оси ССК [1]. Если стенд оснащен термокамерой, то в процессе традиционной калибровки можно найти характеристики температурной зависимости смещения нуля и МК ЧЭ.

Достоинства калибровки по прямым измерениям:

– можно оценить сами значения смещений нулей, масштабных коэффициентов и углов неортогональности.

Недостатки калибровки по прямым измерениям:

1. Значительное воздействие шумов в сигналах датчиков на точность калибровки.
2. Привязка измерительных осей гироскопов и акселерометров к осям стенда, относительно которых оси ИМ выставлены [4] с некой погрешностью.
3. Существенное воздействие на точность калибровки инструментальных ошибок экспериментального стенда.

Скалярная калибровка

Скалярная методика калибровки получила свое название благодаря тому, что эталонными данными является не вектор, а скалярное значение, функционально связанное с этим вектором. В качестве этого скаляра было предложено применить скалярное произведение вектора на себя, то есть в матричном виде, в частности, для ускорения силы тяжести $\vec{g}^T * \vec{g}$ [1].

Данная методика основана на том, что, независимо от ориентации осей ЧЭ, при отсутствии внешних воздействий сумма квадратов показаний триады датчиков равна квадрату опорного воздействия: ускорения свободного падения для акселерометров и скорости вращения Земли для гироскопов, известных с наибольшей точностью на испытательном полигоне. В этом случае значительно ниже требования к точности ориентации ЧЭ, то есть зависящей как от погрешности ориентации стенда, так и от погрешности привязки осей ИМ к осям платформы стенда (рис. 1) [1].

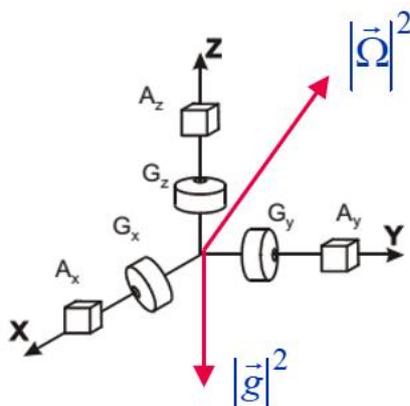


Рис. 1. Инерциальный измерительный модуль

Достоинства скалярной калибровки:

- нет строгих условий к угловой выставке тестируемого оснащения и выставке датчиков на тестируемом оснащении.

Недостатки скалярной калибровки:

1. Требуется довольно высокоточное измерение выходных сигналов датчиков.
2. Калибровка производится в спектре угловых скоростей, который никоим образом не охватывает рабочий диапазон системы [6].
3. Вместо шести углов, описывающих отклонение измерительных осей датчиков от осей ССК, определяются только три их разности [5].
4. Поскольку уравнения, на которых базируется скалярный способ калибровки, правильны лишь только в первом приближении, метод, который мы рассматриваем, даёт методологические ошибки, пропорциональные квадрату значений калиброванных параметров.

Калибровка по решению задачи ориентации

Блок инерциальных измерений содержит в себе, как правило, 3 измерителя угловой скорости (гироскопы) с перпендикулярной чувствительностью друг к другу (вплоть до инструментальных погрешностей), 3 измерителя удельной силы (акселерометры), датчики температуры, электроники и компьютер. В вычислителе БИНС уравнения движения твердого тела интегрируются с учетом начальных факторов, движения опорной системы координат (обычно связанной с вращающейся Землей) и гравитационных сил, которые не измеряются датчиками. В результате на основе показаний инерциальных датчиков решается задача ориентации, а именно вычисляется ориентация объекта относительно опорного трехгранника (матрицы или кватернион ориентации, углы курса, крена, тангажа) [2].

Необходимым условием наблюдаемости и хорошей обусловленности является наличие вращений вокруг каждой из осей прибора, при которых ось вращения близка к гори зонту [2].

Достоинства калибровки по решению задачи ориентации:

- осуществимость калибровки на грубых одноосных стендах, которые не обеспечивают более точной регулировки угловых положений, угловых скоростей и не имеют счетчиков для этих характеристик;
- отсутствие строгих условий для проекта операций, порядка и особенностей движения;
- единый метод обработки опыта самостоятельно, независимо от вида движения и углового положения, без разделения его на этапы;
- хорошие возможности для расширения модели уравнений ошибок [2].

Недостатки калибровки по решению задачи ориентации:

- для грубой ИИМ при интегрировании уравнения ориентации малые угловые погрешности могут выходить за границы линейной зоны [2] по величине;
- это требует точной первоначальной выставки БИНС.

Калибровка по навигационному решению БИНС

Калибровочные параметры могут быть уточнены с помощью традиционных или скалярных методов, описанных выше. Если в качестве эталона используются прямые измерения угла поворота или скорости вращения платформы, то к точности предъявляются строгие требования, так как точность калибруемых параметров ограничивается инструментальными погрешностями стенда. Невозможно выполнить эти требования для навигационного класса БИНС.

Кроме того, традиционные и скалярные методы калибровки не позволяют определить все компоненты модели ошибок ИМ. В связи с этим все чаще используются

косвенные методы калибровки, которые предполагают уточнение параметров калибровки ИМ с помощью навигационного решения БИНС. В этом случае в качестве исходных данных для угловых колебаний плат формы стенда используются линейные скорости и географические координаты пол юса ССК.

Оценка требуемых коэффициентов модели ошибки ИМ выполняется с помощью фильтра Калмана. Измерения для фильтра Калмана: ошибки в формировании параметров навигации и ориентации БИНС, которые созданы в условиях стенда. Наличие погрешностей в генерируемых параметрах подходящего уровня свидетельствует об остаточных, некомпенсированных погрешностях в расчетных параметрах на первых этапах калибровки.

Достоинства калибровки по навигационному решению БИНС [1]:

- калибровка выполняется с использованием гораздо менее зашумленных выходных сигналов БИНС;
- полученная ошибка не включает в себя ошибки установки и ошибки на платформе, а также ошибки в настройке углов поворота;
- БИНС калибруется в составе навигационной системы с учетом канала передачи информации и ошибок бортового компьютера;
- измерительные оси гироскопов связаны с измерительными осями акселерометров;
- время прибытия данных ЧЭ привязывается к шкале времени с учетом всех фильтров, используемых в алгоритме [1].

Недостатки калибровки по навигационному решению БИНС:

- имеет возможность применяться только лишь для определения характеристик линейной модели ошибок на порядок меньше измеряемой величины;
- требуется точное первоначальное обнаружение БИНС.

Заключение

В работе были рассмотрены методы и алгоритмы калибровки ИИМ. На основе проделанной работы можно кратко охарактеризовать каждый из четырех методов калибровки. Калибровка по прямым измерениям - проекции измеряемого вектора на оси измерения используются в качестве эталонных данных. Скалярная калибровка – в качестве эталонных данных применяется не вектор, а скаляр, который функционально связан с этим вектором – скалярное произведение вектора на самого себя. Калибровка по решению задачи ориентации - компоненты вектора ускорения силы тяжести на оси географической системы координат применяются в качестве справочных данных. Калибровка по навигационному решению БИНС - линейные скорости и географические координаты начала системы координат, связанной с ИИМ БИНС, применяются в качестве справочных данных. Калибровку по навигационному решению и по решению задачи ориентации стоит использовать только после калибровки по прямым измерениям для повышения точности.

Литература

1. Драницына Е.В. Калибровка измерительного модуля прецизионной бинс на волоконнооптических гироскопах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.11.03 – Приборы навигации. Санкт-Петербург. 2016.
2. Козлов А.В. Динамическая стендовая калибровка бескарданных инерциальных навигационных систем в сборе / Парусников Н.А., Вавилова Н.Б., Тарьгин И.Е., Голован А.А. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. № 1(195). С. 241–257.

3. Егоров Д.А. Калибровка датчиков угловой скорости на базе волоконнооптических гироскопов / Егоров Д.А., Погуляй Е.В. // Материалы докладов IX научно-технической конференции молодых ученых "Навигация и управление движением", 2007. С. 155–159.
4. Емельянец Г.И. О калибровке погрешностей БИИМ на ВОГ в условиях стенда / Емельянец Г.И., Драницына Е.В., Блажнов Б.А. // Гироскопия и навигация. 2012. № 3(78). С. 55–63.
5. Аврутов В.В. Влияние погрешности поворота стенда на точность калибровки блока гироскопов и акселерометров / Аврутов В.В., Мазепа Т.Ю. // Вісник НТ УУ "КПІ". Серія Приладобудування. 2012. Вип. 43. С. 5–10.
6. Аврутов В.В. О скалярной калибровке блока гироскопов и акселерометров / Аврутов В.В. // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія: Приладобудування. 2010. № 40. С. 10–17.



Басова Татьяна Владимировна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет систем робототехники и робототехники,

аспирант, 1-й год, группа 7761,

направление подготовки: 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям),

e-mail: tvbasova@itmo.ru

УДК 621.9-05: 621.993.2: 621.992.2

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ НА СТАНКЕ С ЧПУ

Т.В. Басова

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.С. Андреев

Аннотация

В работе рассмотрена методика активного контроля резьбовых фрез на станке ЧПУ при помощи бесконтактной лазерной системы измерения инструмента. Представленная методика автоматизирует процесс измерения инструмента, сокращает производственный брак изготовления резьбы, вызванный работой с изношенным или сломанным инструментом, а также вызванный неверным определением координат нулевой точки инструмента на станке с ЧПУ.

Ключевые слова

Износ инструмента, активный контроль, станки с ЧПУ, бесконтактная система измерения инструмента, резьбовые фрезы.

Замена режущей пластины сборного инструмента или самого режущего инструмента после обработки определенного количества заготовок не обеспечивает выполнения конструкторско-технологических требований резьбы, при этом удорожает себестоимость изготовления детали за счет недостаточного использования инструмента [1], что особенно актуально для гибких производственных систем. Данные проблемы частично возможно решить активным контролем инструмента, что особенно необходимо для инструмента сложной геометрической формы, как у резьбовых фрез. Под активным контролем режущего инструмента подразумевается контроль износа инструмента посредством измерения геометрических размеров инструмента в начале и в конце технологических переходов с дальнейшей корректировкой траектории режущего инструмента на станке с ЧПУ на величину измеренного износа. Современные станочные методы определения износа резьбовых фрез, в основном, являются недостаточно точными из-за неполной автоматизации процессов измерения инструмента [2, 3], что не дает их использовать как средство активного контроля.

Автоматизированное измерение и привязку инструмента на станке с ЧПУ могут обеспечивать бесконтактные датчики измерения инструмента (бесконтактные лазерные станочные системы измерения инструмента) [4]. Принцип работы бесконтактных лазерных станочных систем измерения инструмента заключается в сканировании лазерным лучом вращающегося инструмента по нескольким заданным точкам в соответствии со специальной станочной программой измерения инструмента - цикл измерения инструмента [5]. В цикле измерения инструмента присутствуют параметры-переменные, значения которых, в основном, необходимо вносить вручную через систему ЧПУ. При рассмотрении цикла измерения инструмента можно выделить ряд

программируемых параметров-переменных, обозначения которых отличаются в зависимости от разработчика системы измерения инструмента. Так у разработчика бесконтактной системы измерения BLUM-Novotest GmbH имеются следующие обозначения параметров-переменных, включенных в цикл измерения инструмента:

- PZ – осевое измерительное положение для измерения радиуса инструмента;
- PX – радиальное смещение луча лазера для определения длины инструмента.

Значения параметров-переменных «PX» и «PZ» отвечают за точки измерения инструмента на бесконтактной системе измерения инструмента, а корректность их значений напрямую влияет на результаты измерения инструмента, следовательно, на точность выполнения размеров при обработке по управляющей программе. Значения параметров-переменных «PX», «PZ» должны быть установлены в соответствии с особенностями режущего инструмента и вида измерения.

В случае попадания луча лазера на точку перехода радиуса пластины инструмента в цилиндрическую или плоскую часть, а также в случае прохождения луча лазера мимо ожидаемой точки замера инструмента будут ошибочные результаты измерения, а также возможен сбой работы системы измерения.

Измерение инструмента в начале и в конце управляющей программы и оценка результатов измерений инструмента должны выполняться в соответствии с типом инструмента в соответствии со специальными алгоритмами выполнения измерений и оценки их результатов. Так, в случае поломки инструмента после выполнения механической обработки должна быть предусмотрена проверка заготовки на наличие технологического брака, а также блокировка инструмента с дальнейшей его заменой на дубль.

Таким образом, для активного контроля резьбовых фрез на станке с ЧПУ с помощью бесконтактных систем измерения необходима разработка специальной методики, включающей следующие этапы: подготовительный, состоящий из анализа геометрических особенностей режущего инструмента для определения значений параметров-переменных в цикле измерения инструмента; а также алгоритм операций выполнения измерений износа режущей кромки инструмента в зависимости от типа режущего инструмента.

Для осуществления активного контроля резьбовых фрез на станке с ЧПУ была применена бесконтактная система измерения с выполнением измерений инструмента в начале и в конце технологических переходов по вызову программы измерения инструмента. В работе был разработан алгоритм измерения инструмента на станке с ЧПУ для осуществления активного контроля инструмента. Алгоритм контроля износа режущей кромки инструмента позволяет выявлять поломку инструмента, а также оценивать его износ. Также для корректной работы бесконтактной системы измерения инструмента в работе была выведена формула нахождения параметра-переменной цикла измерения резьбовых фрез.

Вышеописанная методика позволяет автоматизировать механизм измерения резьбовых фрез на станке с ЧПУ, а, значит, частично обеспечить точность изготовления резьбы. Разработанная методика может быть применена не только в гибких производственных системах, но также адаптирована для традиционных станков с ЧПУ и других типов инструмента.

Литература

1. Дмитриев С.И., Ершова И.Г. Метрологическое обеспечение производства в машиностроении: курс лекций – Псков: Издательство ППИ. 2011. 180 с.: ил.
2. Станок с ЧПУ: Измерение и контроль // <https://ritm-magazine.ru/ru/public/stanok-s-chpu-izmerenie-i-kontrol> (дата обращения: 23.01.2021).

3. Каштальян И.А. Программирование и наладка станков с числовым программным управлением. 2015. 135 с.
4. Reiser W. Laser system for non-contact tool setting and breakage detection //WIT Transactions on Engineering Sciences. 1970. Т. 16.
5. URL: [https:// www.blum- novotest.com/ en/ products/ measuring-components/ lasercontrol/ micro- compact-nt.html](https://www.blum-novotest.com/en/products/measuring-components/lasercontrol/micro-compact-nt.html) (дата обращения: 03.01.2021).



Бахтиярова Алина Шамильевна
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №N41002,
направление подготовки: 23.04.03 – Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов,
e-mail: alinabaxtiyarova@gmail.com



Будько Марина Борисовна
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: mbbudko@itmo.ru



Будько Михаил Юрьевич
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: mbudko@itmo.ru



Гирик Алексей Валерьевич
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: avg@itmo.ru



Павлов Сергей Станиславович
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
аспирант,
направление подготовки: 05.13.19 – Методы и системы защиты
информации, информационная безопасность,
e-mail: sp1311@mail.ru

УДК 004.056.5, 004.032.26

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛГОРИТМА СТОХАСТИЧЕСКОГО ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА НА КАЧЕСТВО ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.Ш. Бахтиярова, М.Б. Будько, М.Ю. Будько, А.В. Гирик, С.С. Павлов

Работа выполнена в рамках темы НИР №620124 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

В настоящее время большое внимание уделяется обеспечению безопасности сетевого взаимодействия. Системы обнаружения вторжений часто расширяются модулями обнаружения аномалий для выявления неизвестных воздействий. Среди интеллектуальных подходов к обнаружению аномалий можно выделить нейронные сети, на результат работы которых в основном влияют алгоритмы обучения и характер связей. В работе показаны результаты обучения методом «коррекция по ошибке» на основе алгоритма стохастического градиентного спуска SGD и различных его оптимизаций: стохастический градиентный спуск с инерцией SGDm и метод адаптивной оценки моментов Adam, — которые зарекомендовали себя в задачах классификации. Проведено сравнение результатов обучения по метрикам качества. Обучение и тестирование нейронной сети проводится на наборе данных NSL-KDD.

Ключевые слова

Система обнаружения вторжений, сетевые атаки, искусственная нейронная сеть, многослойный персептрон, стохастический градиентный спуск, методы оптимизации, NSL-KDD.

Обнаружение и классификация инцидентов на основе нейронных сетей относится к методам вычислительного интеллекта и позволяет определять, как аномалии, так и злоупотребления.

Целью настоящего исследования является повышение точности предсказаний нейронной сети для выявления аномалий при реализации распространенного и зарекомендовавшего себя для задач классификации метода коррекции по ошибке, называемого также дельта-правилом.

В качестве архитектуры нейронной сети был выбран многослойный персептрон, который представляет собой полносвязную многослойную нейронную сеть, при этом каждый нейрон последующего слоя связан со всеми нейронами предыдущего.

Одним из методов обучения многослойных персептронов является метод обратного распространения ошибки, в основе которого лежит стохастический градиентный спуск.

Для исследования влияния алгоритма стохастического градиентного спуска на качество обнаружения аномалий телекоммуникационных данных были проведены эксперименты по обучению и тестированию искусственных нейронных сетей с использованием разных алгоритмов, таких как SGD [1], SGDm [2] и Adam [3], поскольку данные алгоритмы являются наиболее перспективными с точки зрения реального применения. Обучение и тестирование нейронной сети проводилось на наборе данных NSL-KDD.

Рассмотрим процесс обучения нейронной сети, для этого разделим обучающий набор данных на K частей по M элементов:

$X_k = \{x_i | i = Mk, \dots, (Mk + M - 1)\}$ - множество объектов,

$Y_k = \{y_i | i = Mk, \dots, (Mk + M - 1)\}$ - множество меток класса,

$$k = 0, \dots, (K - 1).$$

Определим функцию потерь:

$$L^k(w) = \sum_{i=0}^{M-1} L(w, x_{Mk+i}, y_{Mk+i}),$$

$$k = 0, \dots, (K - 1),$$

w – веса нейронной сети.

Обучение нейронной сети заключается в подборе весов таким образом, чтобы функция потерь была минимальной.

Рассмотрим обновления весов для каждого из алгоритмов.

Для алгоритма SGD обновление весов выглядит следующим образом.

Весы считаются K раз для каждой эпохи. Между эпохами тренировочный набор перемешивается, чтобы элементы попали в разные части в разных эпохах. У стохастического градиентного спуска единая скорость обучения η для всех обновлений весов, и она не изменяется во время обучения.

$$w_j^k = w_j^{k-1} - \eta \nabla L^{k-1}(w_j^{k-1}),$$

$$w_{j+1}^0 = w_j^{K-1}, k = 0, \dots, (K - 1), j - \text{номер эпохи.}$$

Когда алгоритм SGD попадает в "овраг", происходит очень медленная сходимость и осцилляция. Алгоритм SGDm решает данную проблему - он вычисляет экспоненциально затухающее скользящее среднее прошлых градиентов и продолжает движение в этом направлении, т.е. увеличивает шаг по направлению к минимуму, и уменьшает осцилляцию. Обновление весов для алгоритма SGDm:

$$v_j^k = \mu v_j^{k-1} - \eta \nabla L^{k-1}(w_j^{k-1}),$$

$$w_j^k = w_j^{k-1} + v_j^k,$$

μ – гиперпараметр инерции.

Алгоритм Adam использует квадрат градиента функции потерь для масштабирования скорости обучения, а также скользящее среднее градиента функции потерь вместо самого градиента. Данный алгоритм является адаптивным методом обучения, он вычисляет индивидуальную скорость обучения для различных параметров. Адам использует оценки первого и второго моментов градиента для адаптации скорости обучения к каждому весу нейросети. Обновление весов для алгоритма Adam:

$$m_j^k = \gamma_1 m_j^{k-1} + (1 - \gamma_1) \nabla L^{k-1}(w_j^{k-1}),$$

$$g_j^k = \gamma_2 g_j^{k-1} + (1 - \gamma_2) (\nabla L^{k-1}(w_j^{k-1}))^2,$$

m, g - скользящее среднее,

γ_1, γ_2 - коэффициенты экспоненциального затухания для оценок моментов.

Алгоритм использует коррекцию смещения, чтобы ожидаемое значение было таким, которое нам необходимо:

$$\bar{m}_j^k = \frac{m_j^k}{1 - \gamma_1}$$

$$\bar{g}_j^k = \frac{g_j^k}{1 - \gamma_2}$$

Используем скользящие средние для масштабирования скорости обучения для каждого параметра:

$$w_j^k = w_j^{k-1} - \frac{\eta \bar{m}_j^k}{\sqrt{\bar{g}_j^k + \epsilon}}$$

Опишем экспериментальную среду и использованные в экспериментах искусственные нейронные сети. В поставленных экспериментах используется многослойный перцептрон с 2 скрытыми слоями. Входной слой содержит 41 нейрон, в соответствии с количеством параметров из набора данных. Выходной слой содержит 1 нейрон, который определяет состояние сети – аномальное или нормальное. В этом эксперименте рассматривается следующее количество нейронов в скрытых слоях: 32, 64, 128, 256. Для оценки точности была выбрана метрика “accuracy” – доля правильных ответов алгоритма. Эта метрика является интуитивно понятной и подходящей для данных со сбалансированными классами.

Результаты, полученные в ходе проведения экспериментов, представлены на рис. 1. На графиках показана зависимость точности предсказаний от количества нейронов во втором скрытом слое N при фиксированном количестве нейронов в первом слое P.

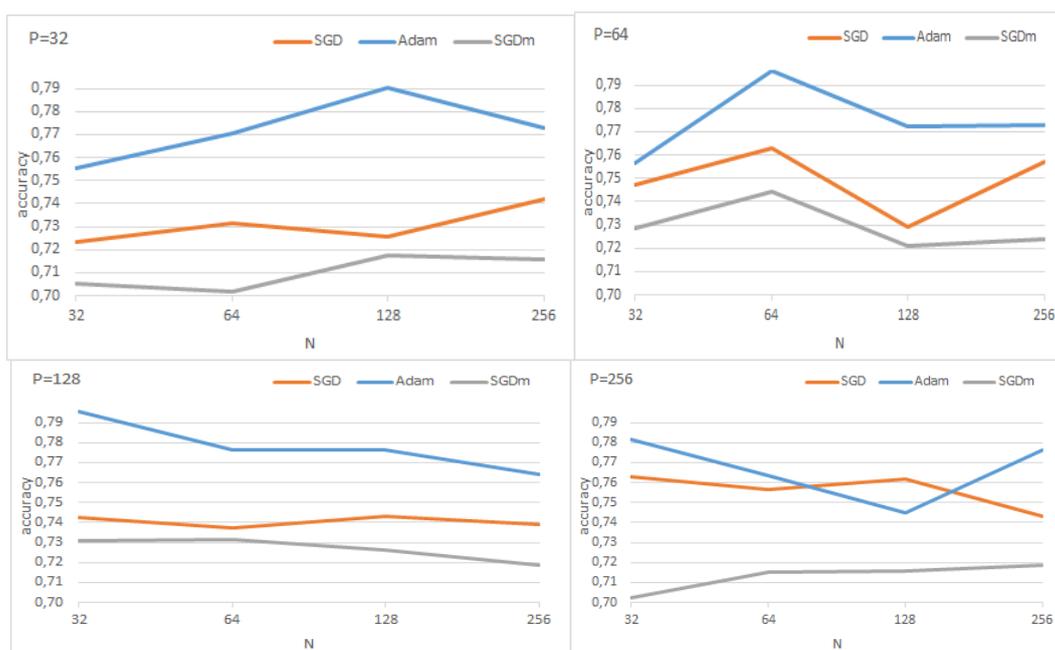


Рис. 1. Точность обнаружения аномалии с фиксированным значением количества нейронов в первом скрытом слое

Исходя из выше представленных данных, можно сделать следующий вывод: алгоритмы, которые являются модификацией SGD, могут по-разному показывать себя при решении задач классификации, как с положительной стороны, так и с отрицательной. На основе полученных результатов можно заключить, что алгоритм Adam является наиболее эффективным, а SGDm – наименее эффективным на выбранных наборе данных и параметрах.

Для оценки эффективности выбранной модели с наиболее равномерным использованием имеющихся данных было принято решение использовать кросс-валидацию KFold. Данный подход предполагает автоматическое разбиение выборки на части в n вариациях и обучение на этих частях нейронной сети. На основе анализа работ [4-7] было принято решение об использовании в кросс-валидации выборок с количеством вариаций, равным пяти.

По каждому набору данных была проведена проверка на точность предсказаний и выведено среднее значение пяти таких проверок на каждую комбинацию количества нейронов в скрытых слоях. Результат экспериментов представлен на рис. 2.

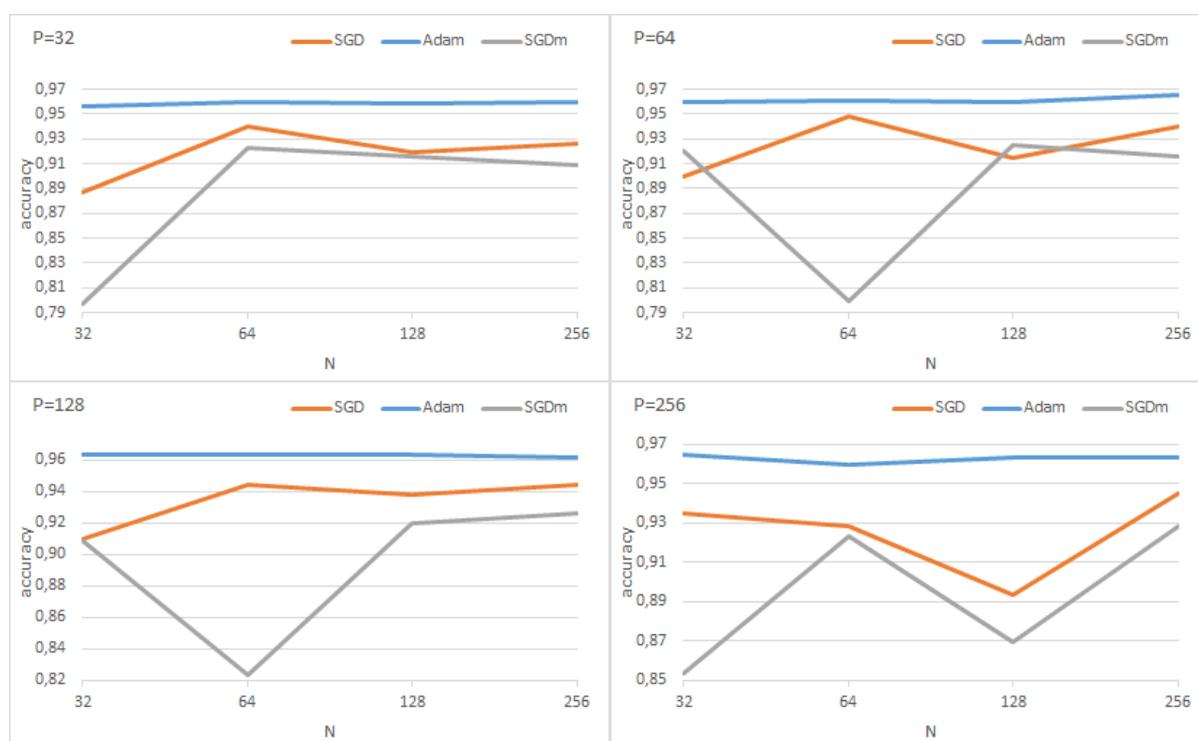


Рис. 2. Точность обнаружения аномалии с фиксированным значением количества нейронов в первом скрытом слое и использованием кросс-валидации

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что алгоритм Adam является наиболее эффективным для задач классификации при обучении на наборе NSL-KDD методом «коррекция по ошибке» для обнаружения аномалий телекоммуникационных данных.

В дальнейшем планируется исследовать зависимость точности обнаружения аномалий от таких параметров, как функция активации, коэффициент скорости обучения, число тренировочных объектов и других. Кроме того, существует необходимость проведения экспериментов на других наборах данных: ADFA Intrusion Detection Datasets, MACCDC, ISTS, ИТОС, DEFCON CTF.

Литература

1. Goodfellow I. et al. Deep learning. Cambridge: MIT press. 2016. Т. 1. №. 2.
2. Ruder S. An overview of gradient descent optimization algorithms //arXiv preprint arXiv:1609.04747. 2016.
3. Kingma D.P., Ba J. ADAM: A method for stochastic optimization. In Proceedings of the 3rd International Conference for Learning Representations – ICLR 2015. San Diego, CA, USA. 7-9 May. 2015.
4. Kuhn M. et al. Applied predictive modeling. New York: Springer. 2013. Т. 26.
5. Gustafsson F. Comparing Random Forest, XGBoost and Neural Networks With Hyperparameter Optimization by Nested Cross-Validation.
6. Zhu L. Statistical Evaluation of Malware Classification Algorithms: дис. Carleton University. 2017.
7. Cross-validation: evaluating estimator performance // scikit-learn URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/cross_validation.html#cross-validation (дата обращения: 30.10.2020).



Беляев Павел Юрьевич

Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №42001,
направление подготовки: 23.04.03 – Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов,
e-mail: 208103@niuitmo.ru



Спивак Антон Игоревич

Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: anton.spivak@itmo.ru

УДК 004.896

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ-ОРИЕНТИРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ
НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА
НА ИЗВЕСТНОМ УЧАСТКЕ МЕСТНОСТИ**

П.Ю. Беляев

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.И. Спивак

Аннотация

В статье рассмотрена разработка модуля детектирования меток-ориентиров для использования в беспилотном транспортном средстве посредством использования нейронных сетей и программного комплекса Nvidia Isaac. Эксперимент проводился в Nvidia Isaac и Unity3D.

Ключевые слова

Компьютерное зрение, обработка данных, нейронные сети, Nvidia, Yolo.

В современном мире все больше компаний предпочитают использовать высокотехнологичные решения для оптимизации деятельности, а также оптимизации работы человеческого ресурса. Создание технологий, которые исключают человеческий фактор в сложных климатических условиях - одна из важнейших сфер развития, так как данные разработки способствуют снижению риска для человеческого здоровья, позволяют оптимизировать работу специалистов, а также позволяет минимизировать затраты.

Компания Nvidia разработала программный комплекс Isaac для разработки робототехнических систем и работы с искусственным интеллектом. Данная технология позволяет разворачивать робототехнические системы с последующим вычислением на GPU, что повышает скорость вычислений моделей компьютерного зрения. Nvidia SDK включает Isaac Engine (платформу приложений), Isaac GEMS (пакеты с

высокопроизводительными алгоритмами робототехники), Isaac Apps (эталонные приложения) и NVIDIA Isaac Sim (платформа моделирования) [1].

Для решения задачи считывания метки-ориентира была предложена трехуровневая система. Первым уровнем системы является считывание метки-ориентира путем использования нейронной сети YOLOv4. YOLOv4 — архитектура, использующая подход YOLO (вы смотрите только один раз). Показатели YOLOv4 расположены на кривой оптимальности по Парето и превосходят самые быстрые и точные детекторы как по скорости, так и по точности [2]. Вторым уровнем системы является модуль сближения с объектом-ориентиром. Третьим уровнем является модуль считывания метки-ориентира и нанесения координат на заранее известную карту местности.

Для реализации первого уровня системы был смоделирован искусственный набор данных посредством Isaac SDK и Unity3D. Генерация набора данных происходит посредством модулей Nvidia Isaac SDK, позволяет настраивать фон за объектом, количество объектов в кадре, точку установки объекта. Моделирование набора данных происходит следующим образом:

1. Развертывание Isaac SDK в среде Unity3D.
2. Добавление объекта для генерации набора данных.
3. Корректировка скрипта для создания набора данных.

В результате работы формируется искусственный набор данных для обучения нейронной сети. Модель 3D модели метки представлена на рис. 1, и полученный набор данных представлен на рис. 2.

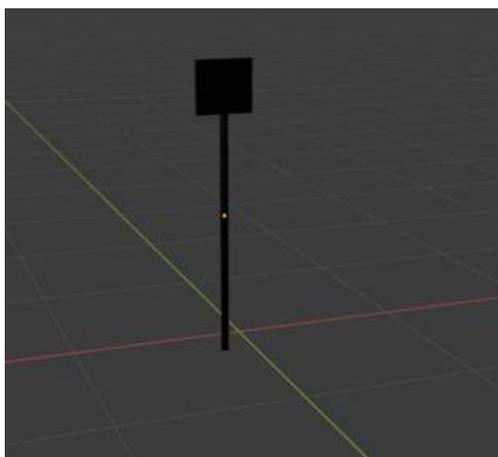


Рис. 1. Смоделированная модель метки-ориентира

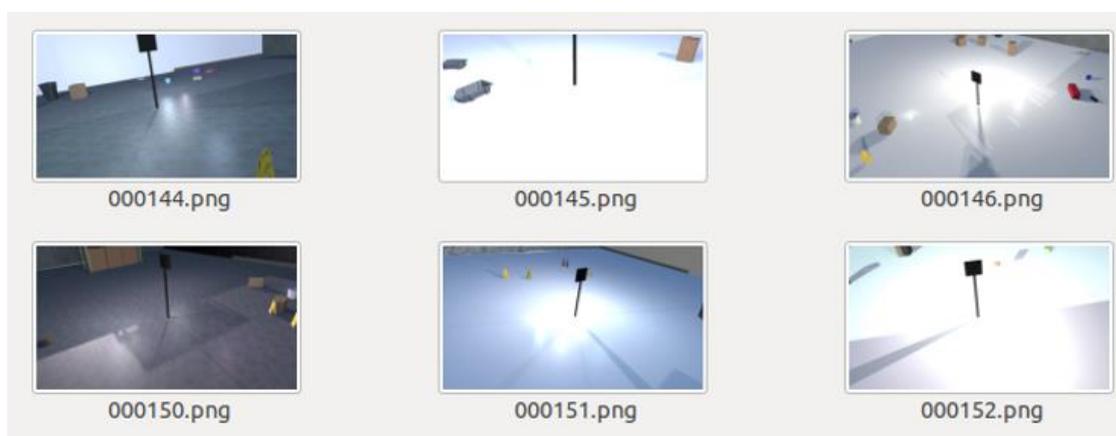


Рис. 2. Сгенерированные данные для обучения модели

Следующим этапом служит обучение нейронной сети. Исходный набор данных состоит из 1376 обучающих и 100 тестовых изображений с разрешением 640x480. Обучение проходило на машине с видеокартой GTX 1060 с видеопамятью 6 гигабайт, процессоре Intel Core i7 9700kf и оперативной памятью DDR4 объёмом 16 гигабайт в двуканальном режиме. Первая итерация обучения длилась 2000 эпох, затем к исходному набору данных применялись аффинные преобразования для повышения точности детектирования модели и дообучение в 1000 эпох. Малое количество данных обусловлено тем, что данные сгенерированы в идеальных условиях и обучение модели происходит при идеальных условиях. Пример данных с аффинным преобразованием представлен на рис. 3.

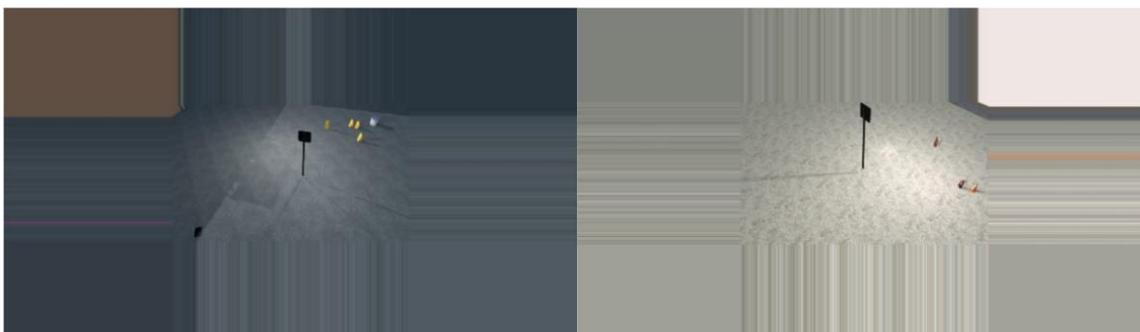


Рис. 3. Применение аффинных преобразований для набора данных

Ход обучения модели представлен на рис. 4.

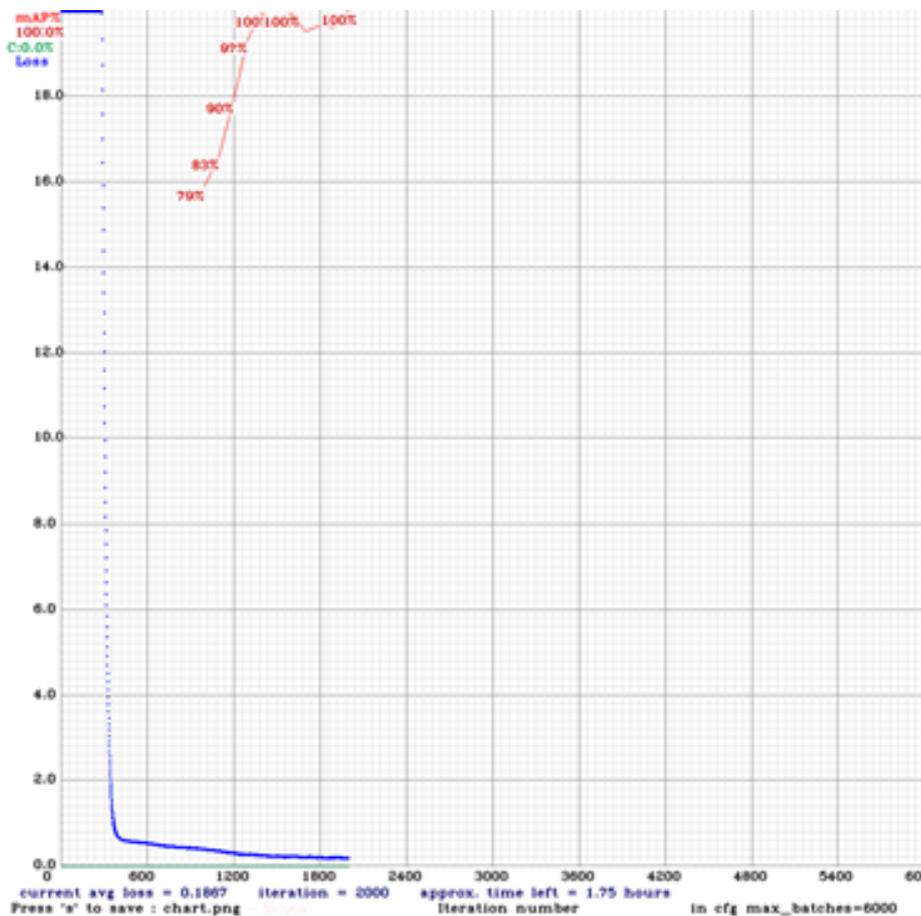


Рис. 4. Вывод обучения модели на наборе данных

**Сравнение модели без применения аффинных преобразований
с моделью с использованием аффинных преобразований**

Мера	Модель, обученная на сгенерированном наборе данных, %	Модель, обученная на сгенерированном наборе данных с использованием аффинных преобразований, %
mAP	25,8	83,8
average IoU	46,31	78,73

В результате применение аффинных преобразований для набора данных дало значительный прирост к средней точности и среднему пересечению между двумя ограничивающими рамками на расстоянии до объекта от 2 до 20 метров. На данном этапе разработки модуль детектирования объекта-ориентира способен работать при идеальных условиях (таблица).

В дальнейшем планируется разработать модуль сближения на основе модуля сближения из модуля Кауа и считывания информации из April-tag с последующим нанесением на карту, а также перенос и тестирование на устройстве Jetson Xavier.

Литература

1. Nvidia I. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.nvidia.com/isaac/isaac/doc/> (дата обращения: 10.02.2021).
2. Bochkovskiy A., Chien-Yao Wang, Hong-Yuan Mark Liao. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2004.10934> (дата обращения: 15.02.2021).



Богомолов Даниил Михайлович

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы № N42516с,

направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность

e-mail: zetteron@gmail.com



Донецкая Юлия Валерьевна

Год рождения: 1983

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: donetskaya_julia@mail.ru

УДК 004.75

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК ЗАЩИТЫ СИСТЕМ «УМНЫЙ ДОМ» НА БАЗЕ АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ СЕТИ

Д.М. Богомолов

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.В. Донецкая

Аннотация

В работе проведен анализ методики защиты систем «умный дом», приведены причины выбора архитектуры программно-определяемой сети для разработки методики защиты информации. Работа содержит описание защищенной системы «умный дом», которая обеспечивает повышенную степень безопасности данных.

Ключевые слова

Умный дом, защита информации, интернет вещей, информационная безопасность, программно-определяемой сети.

Введение

На сегодняшний день ключевой задачей в развитии и использовании технологий интернета вещей является интегрирование всех несвязанных технологий в одну доверенную сеть, которая позволит большому объему информации и сервисов безопасно и эффективно взаимодействовать как в концепции устройство-устройство, так и в концепции устройство-человек. Рынок устройств «умного дома» представлен широким спектром устройств с одним общим существенным минусом – отсутствие стандартизации стека протоколов связи устройств, многие из которых не способны работать друг с другом в одной интегрированной сети и обеспечивать их безопасное использование. В работе предлагается методика проектирования систем «умный дом» с целью повышения защищенности подобных систем, которая подразумевает возможность масштабирования предлагаемой концепции для «умных домов» различной конфигурации устройств [1-2].

Концепция программно-определяемой сети

Концепция программно-определяемой сети проста и её достоинство состоит в том, что данная архитектура предлагает не просто создать централизованный узел в сети, но и управлять всей плоскостью передачи данных из одного центра, именуемого контроллером, на базе уже реализованных протоколов [3]. Использование подобной архитектуры позволяет вынести контрольную плоскость сети на программно-аппаратную базу, избегая разделение её на процессы. Таким образом, контроллер определяет конечное место назначения пакетов, что позволяет встроить в подобную архитектуру эффективную систему защиты информации.

Кроме того, данная архитектура позволяет упростить сетевые устройства до уровня поддержки протоколов обмена информацией с контроллером и базовых функций коммутации, что позволяет сделать устройства на порядок слабее, снижая операционные затраты.

Модель системы

Суть предлагаемой системы состоит в разделении интеллекта сети с помощью контроллера, что в результате позволяет создать сетевую операционную систему.

На рис. 1 представлено абстрактное представление разрабатываемой системы. На рисунке видно, что сервер-контроллер объединил всю домашнюю сеть в единый отделенный от сети интернет «шлюзом» участок сети.

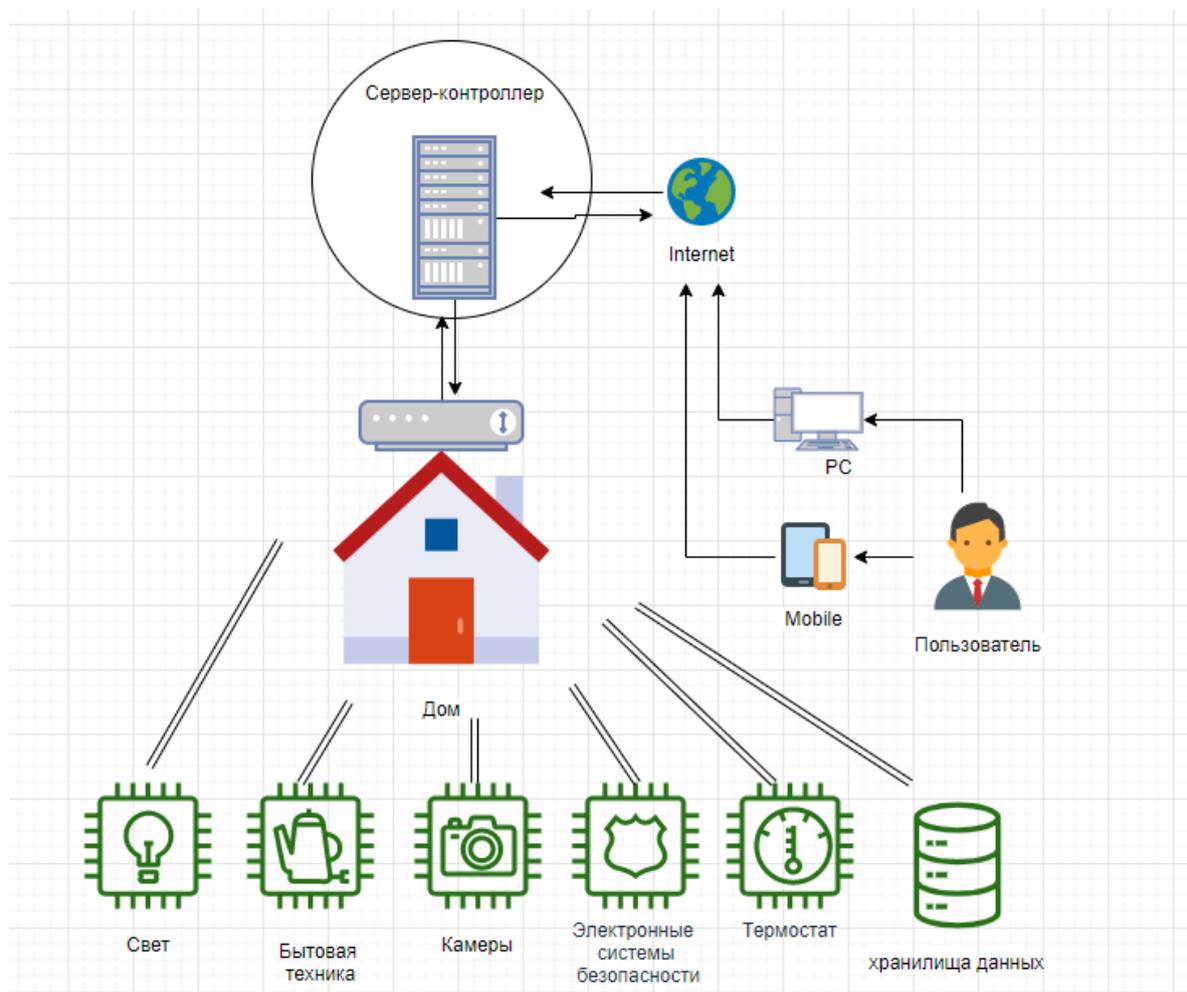


Рис. 1. Абстрактное представление системы

Работа системы выстроена следующим образом: пользователь системы посылает запрос к системе, формируется контейнер, который передается через интернет или по сетевому каналу, в котором возможно наличие различного рода атак. Для подтверждения подлинности запроса между устройствами «умного дома» и интернетом устанавливается сервер-контроллер, на котором запущена программа фильтрации запросов.

Модель предложенной архитектуры на базе программно-определяемой сети состоит из программного уровня и уровня контроля, изображенного на рис. 2.

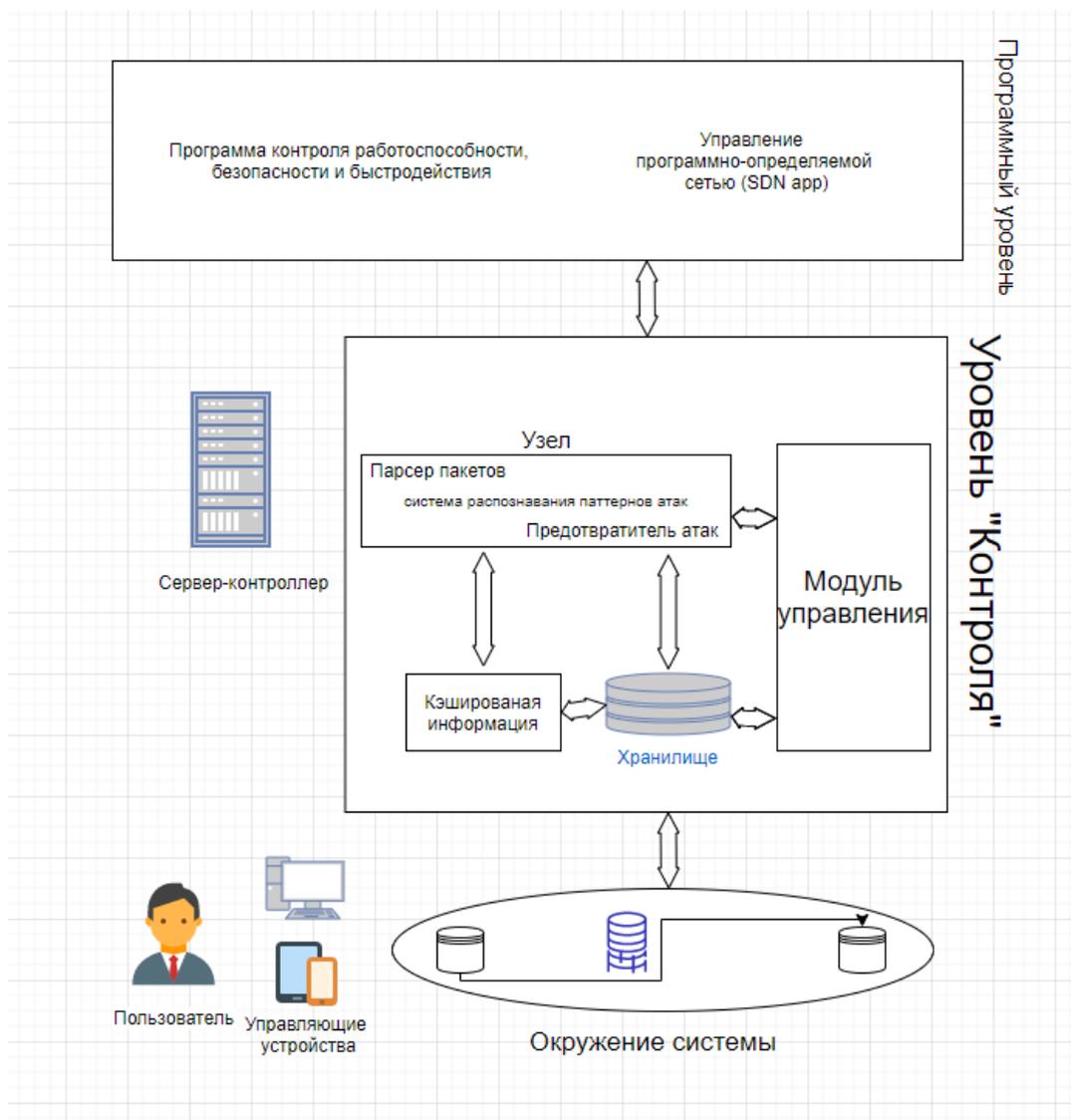


Рис. 2. Схема архитектуры системы

На рис. 3 изображен процесс работы предложенной модели. При получении контроллером пакета данных система в начале проверяет поток данных на новизну. Если поток уникален, то он попадет в модуль проверки кода на наличие внедренной информации. В системе предусмотрен модуль кэширования информации, которая временно хранит необработанные пакеты во время обработки иных пакетов. Данная функция позволяет противостоять попыткам выведения системы из строя атакой типа DDoS [4].

При обнаружении известной атаки система входит в режим повышенной защиты и не позволяет пропускать скомпрометированный поток информации, предпринимая шаги для устранения атаки. Если поток оказывается новым и неизвестным, то система

пропускает его через анализатор. Затем все данные о проанализированных запросах или атаках будут сохранены, после чего система обновит правила в случае обнаружения новых атак. Так как в системах «умный дом» запросы пользователя и устройств между собой однотипны, то подобная система не будет существенно замедлять нормальную работу устройств «умного дома».

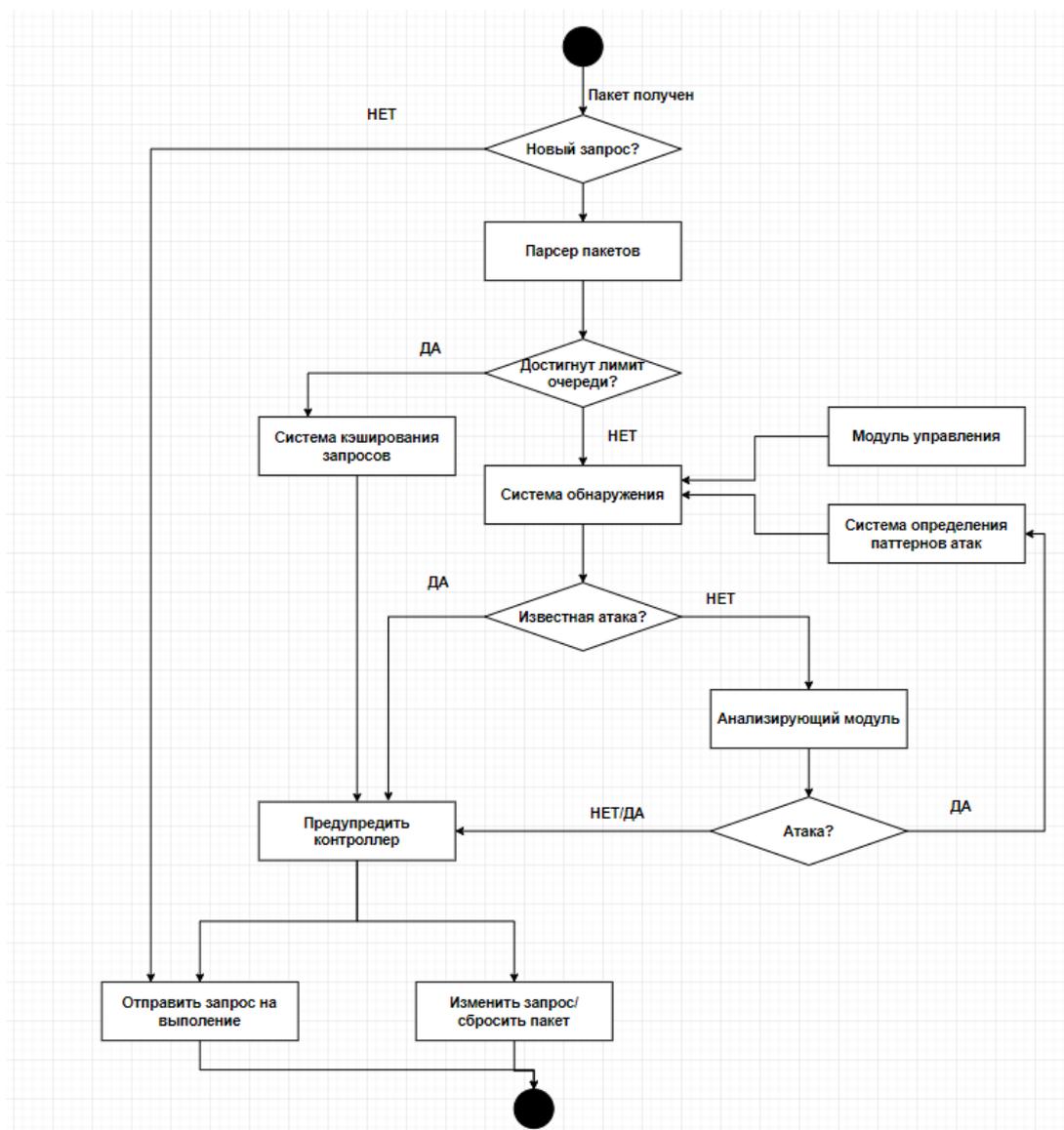


Рис. 3. UML диаграмма работы предлагаемой модели

Выводы

В работе рассмотрена методика, которая позволяет увеличить защищенность системы от внешних атак. Реализация данной методики может быть применена в системах типа «умный дом» любого масштаба без потери скорости работы.

Литература

1. Beckers K.A. threat analysis methodology for smart home scenarios // International Workshop on Smart Grid Security. 2014. С. 94–124.
2. Гурьянов А.В., Заколдаев Д.А., Шукалов А.В., Жаринов И.О., Костишин М.О. Организация цифровых производств Индустрии 4.0 на основе киберфизических

- систем и онтологий // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 2. С. 268–277.
3. Sung Y. FS-OpenSecurity: a taxonomic modeling of security threats in SDN for future sustainable computing // Sustainability. 2016. Т. 8. № 9. 919 с.
 4. Wang B. DDoS attack protection in the era of cloud computing and software-defined networking // Computer Networks. 2015. Т. 81. С. 308-319.



Власова Мария Андреевна

Год рождения: 2000
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники
студент группы №R33301,
направление подготовки: 24.03.02 – Системы управления
движением и навигация,
e-mail: mary_vlasova446@mail.ru



Шевченко Александр Николаевич

Год рождения: 1982
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,
e-mail: standw@yandex.ru



Безмен Глеб Владимирович

Год рождения: 1976
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,
к.т.н.
e-mail: gbezmen@eprib.ru

УДК 531.383-1.537.8

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕРНОГО
МАГНИТНОГО ГИРОСКОПА ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ЕГО ГАЗОВОЙ ЯЧЕЙКИ**

М.А. Власова, А.Н. Шевченко

Научный руководитель – к.т.н. Г.В. Безмен

Аннотация

В работе рассмотрен алгоритм расчета достижимой чувствительности ядерного магнитного гироскопа с учетом линейных размеров его газовой ячейки. Рассмотрены некоторые факторы, влияющие на предельную чувствительность гироскопической схемы. Выявлены размеры ячейки ядерного магнитного гироскопа, при которых достигается оптимум по предельной чувствительности.

Ключевые слова

Ядерный магнитный гироскоп, квантовый датчик, чувствительность, математическая модель, щелочной металл, ксенон, оптическая накачка, спин-обменное взаимодействие.

Ядерный магнитный гироскоп (ЯМГ) – это квантовый прибор, принцип работы которого основан на взаимодействии света и вещества. Он может работать в двух режимах – измерения угловой скорости и измерения угла поворота основания [1]. Носителями кинетического момента в ЯМГ являются изотопы благородного газа

(ксенона), а их начальная ориентация и детектирование состояния производится с использованием паров щелочного металла и излучения накачки и детектирования. Перечисленные рабочие вещества, а также буферный газ находятся в специальной ячейке, конструктивные параметры которой влияют на характеристики ЯМГ. Целью настоящей работы является разработка расчетной модели для исследования зависимости предельной чувствительности гироскопической схемы от линейного размера ячейки.

Чувствительность ЯМГ

Под предельной чувствительностью ЯМГ к вращению основания мы будем понимать минимальную погрешность измерения частоты резонанса $\delta\omega$ [2].

$$\delta\omega = \frac{1}{Q} \sqrt{\Delta f}$$

где: Δf – полоса пропускания; Q – фактор качества резонансной линии.

Фактор качества резонансной линии определяется отношением сигнал-шум и скоростью релаксации рабочего вещества:

$$Q \approx \frac{S}{\sigma_N \Gamma}$$

где S – амплитуда сигнала; Q_n – спектральная плотность шума; Γ – скорость релаксации рабочего вещества.

Под сигналом в данном случае понимается количество регистрируемых информативных независимых событий в единицу времени, а под шумом – среднеквадратическое отклонение общего количества всех независимых событий, которые были зарегистрированы.

Таким образом, получив отношение амплитуды сигнала к спектральной плотности шума и ширине линии, можно оценить чувствительность гироскопа. Далее будет рассмотрена зависимость перечисленных факторов, определяющих предельную чувствительность ЯМГ, от размеров газовой ячейки.

Алгоритм расчета

Для исследования зависимости предельной чувствительности гироскопической схемы к вращению от линейного размера ячейки была разработана математическая модель.

Размер ячейки влияет на скорость релаксации Γ щелочного металла (цезия или рубидия), а также на скорость релаксации ксенона на стенках ячейки. При соударениях с атомами щелочного металла появляется релаксация ксенона, но, в то же время, под действием оптической накачки происходит поляризация атомов щелочного металла, которая через спин-обмен поляризует атомы ксенона. Достижимая степень поляризации атомов благородного газа зависит от степени поляризации щелочного металла. Степень поляризации ксенона определяет уровни сигнала и шума в его каналах, а поляризация и скорость релаксации щелочного металла, в свою очередь, определяют собственный шум магнитометра. Таким образом, сигнал и шум в каналах ксенона вместе с шумом магнитометра влияют на предельную чувствительность гироскопической схемы. Алгоритм расчёта представлен графически на рис. 1. Параметры, определяющие интенсивность оптической накачки и потерю поляризации при столкновениях изотопов ксенона с атомами щелочного металла, не зависят от размеров ячейки и были заданы константами.

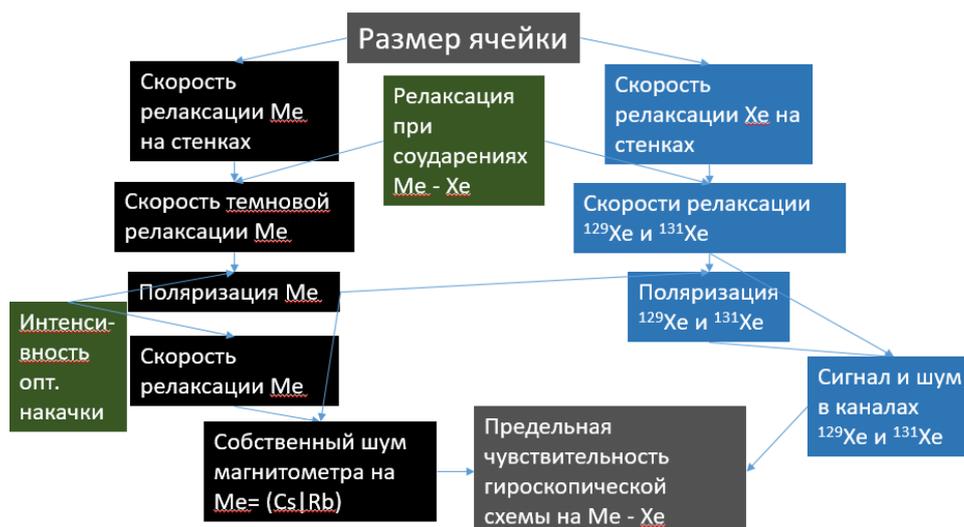


Рис. 1. Алгоритм расчёта зависимости предельной чувствительности гироскопической схемы к вращению от линейного размера ячейки

Зависимость чувствительности от размера ячейки

Зависимость предельной чувствительности гироскопа от размера его газовой ячейки представлена на рис. 2.

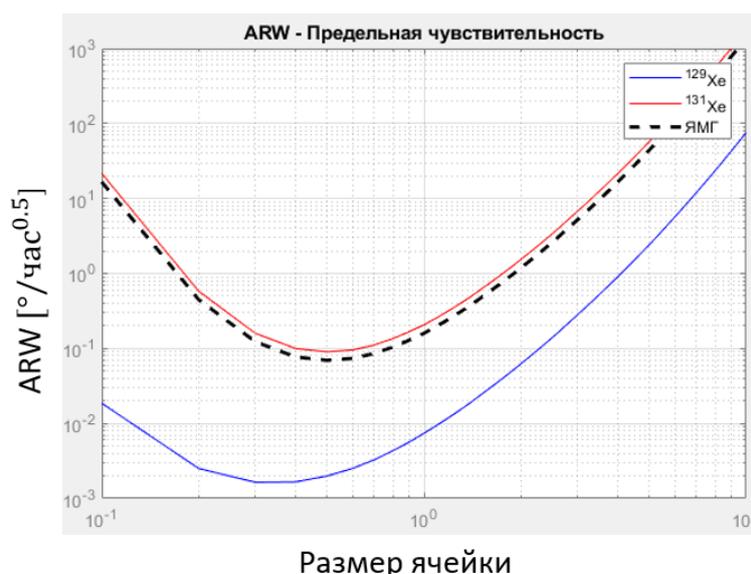


Рис. 2. График зависимости чувствительности гироскопа от размера ячейки

График получен с учётом мощностей коммерчески доступных вертикально излучающих лазеров (0.3 мВт). Из него видно, что оптимум достигается при размерах ячейки от 5 до 11 мм.

Заключение

В работе получена модель расчёта зависимости предельной чувствительности гироскопической схемы к вращению от линейного размера ячейки. Найдены оптимальные размеры ячейки, зависимость чувствительности от которых минимальна.

В дальнейшем планируется рассмотреть зависимости чувствительности ЯМГ от других параметров ячейки, таких как прозрачность, давление, форма, температура.

Литература

1. Безмен Г.В. и др. Система двухчастотной генерации в схеме датчика угловой скорости //Гироскопия и навигация. 2020. Т. 28. №. 1. С. 19-30.
2. Вершовский А.К. и др. Гироскоп на ядерном магнитном резонансе: предельные характеристики //Гироскопия и навигация. 2018. Т. 26. №. 1. С. 100.



Волянский Дмитрий Игоревич

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы №R41343с,

направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника,

e-mail: volyanskiy98@mail.ru



Борисов Иван Игоревич

Университет ИТМО,

факультет систем управления

и робототехники,

к.т.н., ассистент,

e-mail: borisovii@itmo.ru

УДК 62-231

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧЕТВЕРОНОГОГО ГАЛОПИРУЮЩЕГО
РОБОТА С НОГАМИ ВИДА «МИНИТАУР» С ПРИМЕНЕНИЕМ
ПРИНЦИПОВ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Д.И. Волянский

Научный руководитель – к.т.н., ассистент И.И. Борисов

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

В работе рассмотрена конструкция ноги галопирующего робота на базе механизма «минитаур», проведена модернизация существующего прототипа, а также спроектирован четвероногий робот на ее основе. Для адаптации робота к неровностям подстилающей поверхности был разработан механизм отклонения ноги. Проведено моделирование четвероножного галопирующего робота в среде MATLAB Simulink.

Ключевые слова

Минитаур, робот, галоп, нога, моделирование, механизм, морфологическое проектирование.

Сегодня такие задачи, как перевозка грузов, исследование местности и сопровождение людей, постепенно переходят к мобильным роботам. Мы верим, что четвероногий галоп – ключ к решению таких задач. Эффективное использование энергии при высокоскоростном перемещении требует разработки новых конструкций. Морфологическое проектирование является одним из эффективных способов их получения, так как позволяет заложить желаемую динамику системы во внутренней динамике конструкции, а минимально возможное усилие со стороны управления используется для стабилизации, возбуждения, дополнения или использования внутренней динамики проектируемого устройства [1]. Механизм ноги галопирующего робота закрытой кинематики, построенный на основе механизма «Минитаур», был спроектирован с применением принципов морфологического проектирования. Позже

прототип был собран в материале и протестирован [2].

В результате тестирования прототипа наряду с его преимуществами были также выявлены несколько недостатков. Высокие значения массы элементов конструкции вызывают поломку ее составных частей. Наличие люфтов в зубчатом зацеплении приводит к «перескакиванию зубьев» и, как следствие, влечет нестабильность работы конструкции. Для устранения указанных недостатков было принято решение воспроизвести описанную в работе [2] конструкцию ноги в меньшем масштабе для уменьшения ее массы и габаритов. Кроме того, прямозубое зубчатое зацепление было заменено на косозубое для увеличения площади контакта зубьев и предотвращения их «перескакивания».

В таблице представлено сравнение параметров конструкции с их изначальными показателями.

Таблица

Сравнение параметров конструкции с их изначальными показателями

Параметр	Изначальное значение	Новое значение
Масса [г]	1000	550
Габаритные размеры [мм]	360x238x150	230x135x135
Модуль [ед]	1,375	0,9

На рис. 1 представлена модифицированная конструкция ноги галопирующего робота.



Рис. 1. Модифицированная конструкция ноги

Была поставлена задача разработать механизм, позволяющий роботу адаптироваться к неровностям подстилающей поверхности. Было принято решение разработки пассивного механизма для упрощения системы управления всем роботом. На рис. 2 представлена схема разработанного механизма отклонения ноги.

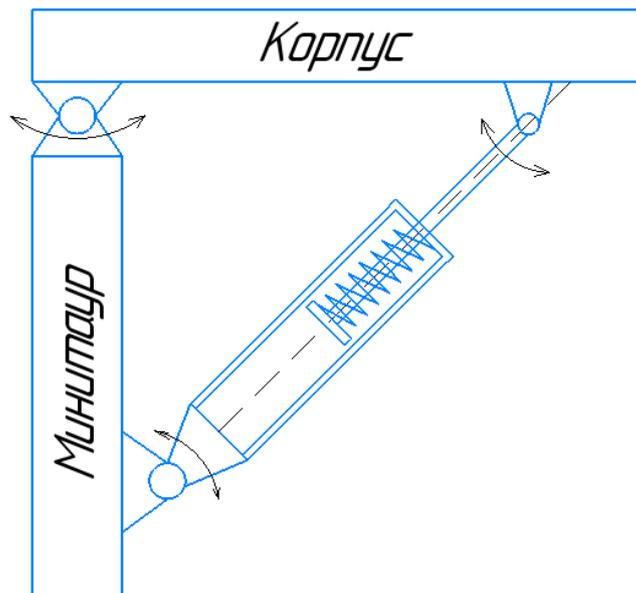


Рис. 2. Схема механизма отклонения ноги

Моделирование четвероногого робота на базе разработанной конструкции проводилось в пакете MATLAB Simulink. На рис. 3 представлена модель четвероногого робота на базе разработанной конструкции ноги.

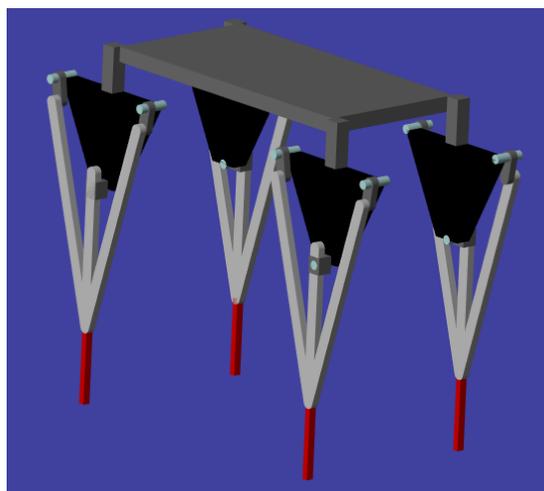


Рис. 3. Модель четвероногого галопирующего робота

В результате моделирования был достигнут процесс стабильного прыжка, иллюстрация которого приведена на рис. 4.



Рис. 4. Прыжок на месте робота гепарда

Кроме того, был промоделирован поворот робота в пространстве. Для этого не применялось дополнительных механизмов. Поворот был осуществлен путем воспроизведения различных траекторий ногами «правой» и «левой» сторон робота. Иллюстрация поворота приведена на рис. 5.

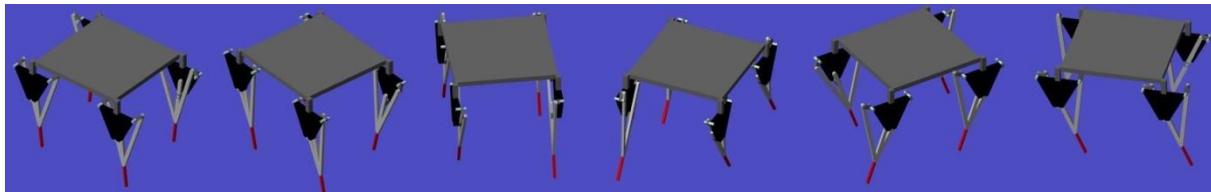


Рис. 5. Поворот в пространстве без применения дополнительных механизмов

Для моделирования работы механизма отклонения ноги в качестве подстилающей поверхности применялась сфера. При контакте с ее поверхностью нога отклоняется в плоскости, перпендикулярной направлению движения. После исчезновения контакта нога возвращается в вертикальное положение. Работа механизма отклонения проиллюстрирована на рис. 6.

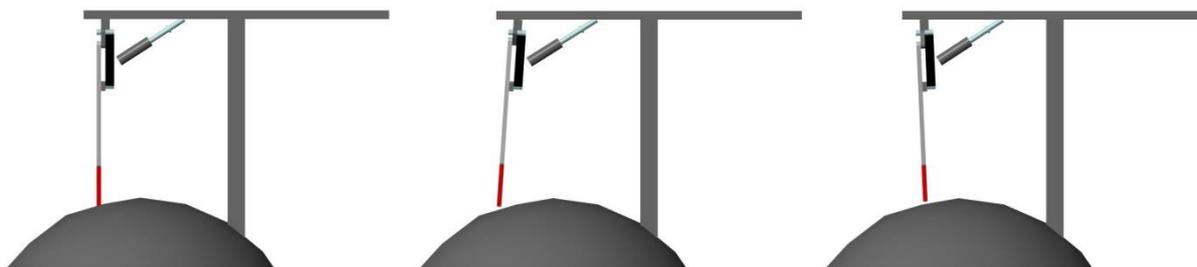


Рис. 6. Демонстрация работы механизма отклонения ноги

В ходе работы была модифицирована конструкция ноги галопирующего робота: понижены габаритные размеры и масса. На базе данной конструкции спроектирован четвероногий робот, а также разработан механизм отклонения ноги. Моделирование в среде MATLAB Simulink показало работоспособность и перспективность разработанных механизмов и конструкций.

В дальнейшей работе планируется моделирование бега четвероногого робота, разработка механизма маневрирования, изготовление прототипа ноги в материале, тестирование прототипа в различных условиях.

Литература

1. The effect of swing leg retraction on running energy efficiency / Haberland M. [et al.] // 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE. 2011. P. 3957–3962.
2. Snippe M. Cheetah robot leg mechanism: analysis, design and cost of transport. PhD thesis, University of Twente, Netherlands. 2017.



Ву Лам Хань

Год рождения: 1976
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
аспирант группы № 7763,
направление подготовки: 10.06.01 – Информационная
безопасность,
e-mail: vulamkhanh@gmail.com



Чан Зуи Хань

Год рождения: 1993
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
аспирант группы № 7763,
направление подготовки: 10.06.01 – Информационная
безопасность,
e-mail: viewtheworld93@gmail.com



Комаров Игорь Иванович

Год рождения: 1970
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.ф.-м.н., доцент,
e-mail: komarov@cit.ifmo.ru

УДК 004

**МОДЕЛЬ БЛОКЧЕЙНА ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ГОРОДСКИМ ДВИЖЕНИЕМ**

Ву Лам Хань, Чан Зуи Хань, И.И. Комаров

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент И.И. Комаров

Аннотация

В настоящее время интеллектуальные транспортные системы интенсивно исследуются и развиваются, основанные на технологии распределенной регистрации. Однако системам управления городским движением не уделялось внимания. Традиционные системы управления городским движением не отвечают потребностям практики. В статье предлагается новая модель управления городским транспортом, базирующаяся на концепции распределённого реестра и использующая модифицированные стеки протоколов.

Ключевые слова

Блокчейн, интеллектуальная транспортная система, VANET, система управления городским движением, автономные транспортные системы.

Как известно, развитие общества всегда сопровождается развитием транспортной сети. Социальное развитие требует развития транспорта, и наоборот, развитие транспорта способствует социальному развитию. В настоящее время транспортом не просто является транспортировка людей и товаров, но он постепенно интегрирует

передовые технологии в интеллектуальные транспортные системы [1], автономные транспортные системы [2] или движение в умном городе [3]. Поэтому задача управления городским движением требует более высоких и сложных требований, особенно вопрос обеспечения информационной безопасности в этих системах. На современные системы управления городским движением влияют многие факторы, такие как слабая предсказуемость условий функционирования городского транспорта (ГТ), ограниченные ресурсы и ограниченные области взаимодействия. Централизованная модель ГТ систем имеет два основных недостатка: наличие единой точки отказа и отсутствие доверия между компонентами системы. Это система может перестать работать, когда единая точка отказа подвергается атаке или выходит из строя. Такая ситуация мешает передаче данных в системе.

С развитием науки и технологий появилось много новых технологий для передачи данных, обеспечивающих информационную безопасность, таких как большие данные, Интернет вещей (IoT), облачные вычисления, блокчейн. Во многих статьях исследовалась возможность применения технологии блокчейна на транспорте [4] и VANET (автомобильная специальная сеть) [5]. Блокчейном является технология, характеризующаяся распределенной базой данных, основанной на одноранговой сети, с децентрализованным механизмом аутентификации, которая считается идеальной технологией для применения в транспортной системе. Статья сосредоточена на анализе характеристик ГТ среды, тем самым выдавая требования к системе и предлагая модель блокчейна для этой среды.

Типичные характеристики ГТ среды представлены следующими аспектами:

- структура, состояние и пропускная способность дорог ограничены, четко определены и редко меняются;
- автомобили могут двигаться только по заранее определенным маршрутам. Это означает, что топография трафика четко определена;
- автомобили движутся с разной скоростью. Скорость трафика бывает случайной, непрерывной и непредсказуемой;
- направление движения транспортных средств непредсказуемо, но эти направления всегда находятся в пределах предопределенных маршрутов;
- система городского транспорта управляется и эксплуатируется организацией, за которую обычно отвечает государственное учреждение;
- чтобы транспортная система работала эффективно, управление городским движением должно реагировать в режиме реального времени. Это значит, что дорожная ситуация должна обновляться постоянно и оперативно;
- автомобили связываются друг с другом и с инфраструктурой через радиоволны, микроволны или другие беспроводные сети. Эти коммуникации обычно происходят в течение короткого периода времени, так как отключения и повторные подключения происходят часто.

Основная ГТ система включает инфраструктуру (RSU - придорожные блоки) и транспортные средства, участвующие в дорожном движении (OBU - бортовые блоки). На рис. 1 изображена структура связи между блоками RSU и OBU. Здесь блоки RSU соединены друг с другом с помощью микроволновых волн или кабелей. Транспортные средства общаются друг с другом и обмениваются данными с RSU посредством радиоволн или других типов беспроводных волн.

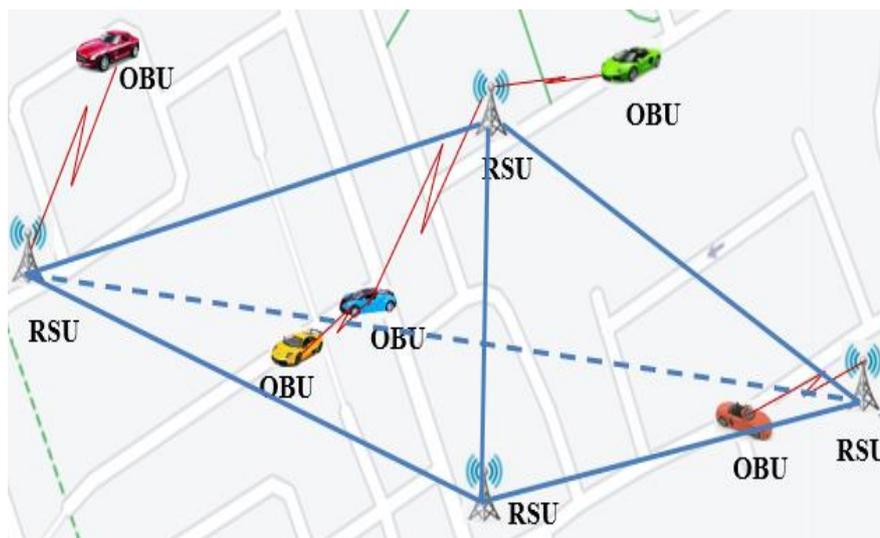


Рис. 1. Структурная схема взаимосвязи между RSU и OBU

К системе управления ГТ предъявляются следующие требования:

- централизованное управление: ответственность за систему управления городским движением несет государственный орган. Это единственное агентство, которое управляет инфраструктурой, предоставляет и отменяет регистрацию транспортных средств в системе;

- постоянно и быстро обновление: из-за того, что транспортные средства движутся с высокой скоростью, скорость и направление могут постоянно меняться, и их трудно предсказать, поэтому условия движения необходимо постоянно обновлять, реагируя на реакцию в режиме реального времени;

- выдерживание постоянных отключений и повторных включений: поскольку транспортные средства часто движутся с высокой скоростью, часто происходит отключение и повторное включение. Следовательно, пакеты должны быть компактными, чтобы обмен информацией мог происходить во время соединения;

- безопасность, надежность и доступность инфраструктуры: инфраструктура является основой системы управления трафиком. Следовательно, инфраструктура должна обеспечивать высочайшую надежность и безопасность. Кроме того, инфраструктура должна быть спроектирована таким образом, чтобы в случае отказа одной из частей система продолжала работать;

- прослеживаемость: в дополнение к вышеуказанным характеристикам система управления дорожным движением должна иметь возможность прослеживаемости (просматривать историю движения транспортного средства), чтобы служить различным целям, таким как расследование, статистика, проверка.

Недостатками современной системы управления ГТ являются избыточные объемы данных, подлежащих обработке в классических моделях вычислительной системы, влекущих повышенные требования к ресурсам (энергопотребление, вычислительная мощность...); низкая устойчивость традиционных схем в условиях неполного покрытия услугами связи; сложность адаптации к новым задачам.

В связи с потребностью практики и возможностью применения научно-методических технологий предлагается модель блокчейна для среды управления городским движением. Система управления городским движением использует две сети блокчейна для двух разных целей. Секретный (приватный) блокчейн используется в инфраструктуре для управления и подключения RSU (рис. 2), публичный блокчейн используется для управления транспортными средствами и соединения между OBU, а также для соединения между OBU и RSU (рис. 3).

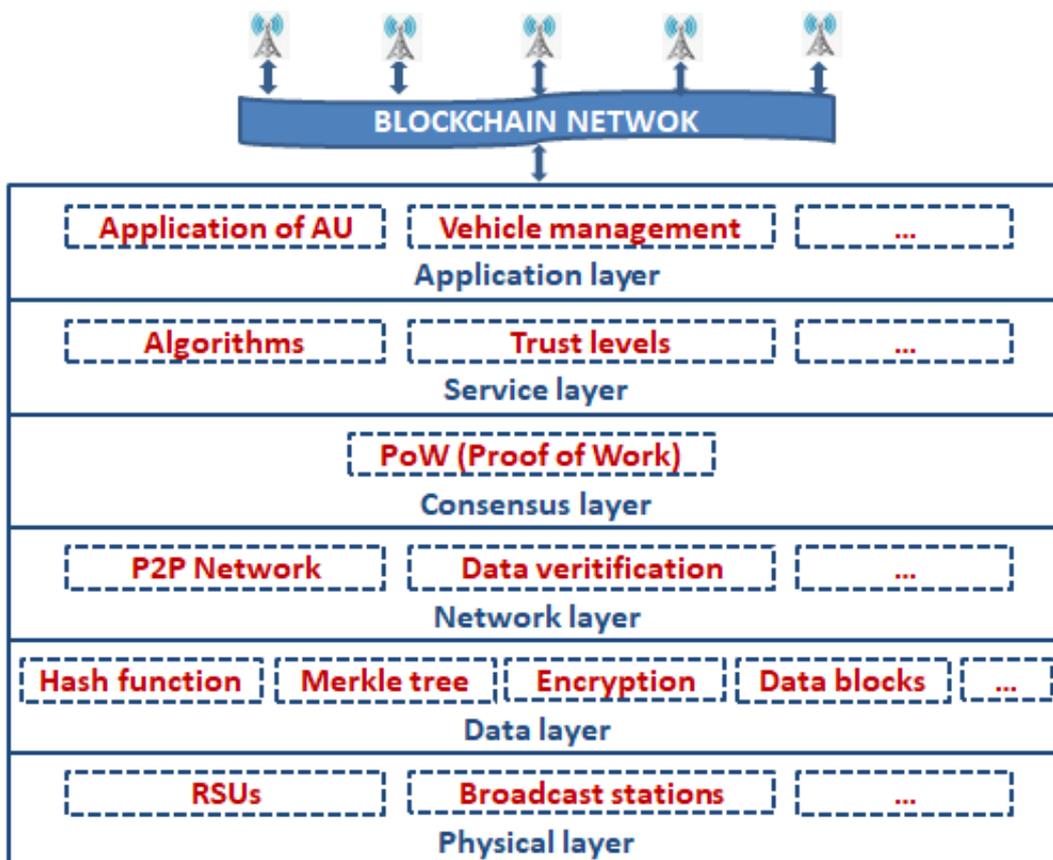


Рис. 2. Секретный блокчейн, используемый в RSU

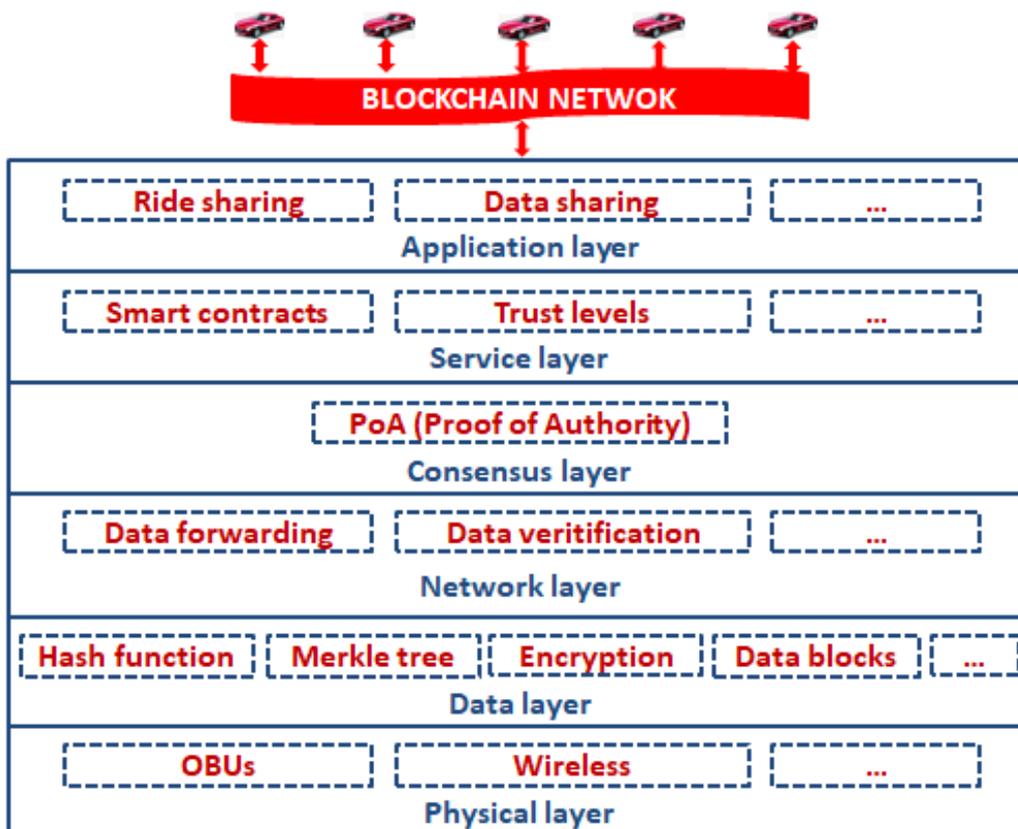


Рис. 3. Публичный блокчейн, используемый в OBU

В зависимости от функциональности каждой цепочки блоков на каждом уровне используются разные технологии и методы. Однако общая архитектура блокчейна делится на 6 уровней:

- физический уровень включает в себя все физические объекты, которые служат для связи друг с другом в системе. Эти агенты связаны с помощью радиоволн, микроволн или кабеля;
- уровень данных отвечает за обработку данных в заранее определенном формате. Данные передаются, хранятся и обрабатываются блоками. Эти блоки связаны в цепочку блоков;
- сетевой уровень – это место для установки техник, методов перехода, проверки данных в системе;
- уровень консенсуса – это место, где алгоритмы консенсуса устанавливаются в системе в качестве предпосылки для инкапсуляции и добавления блоков в цепочку блоков;
- служебный уровень предназначен для реализации алгоритмов под конкретную задачу, которое также реализует смарт-контракты;
- прикладной уровень – это реализация всех приложений, которые можно использовать в реальной жизни, таких как приложения для управления транспортными средствами, приложения для совместного использования автомобилей, приложения для совместного использования данных.

Частными задачами исследования являются разработка моделей достижения консенсуса в локальных объединениях компонентов ГТ за счёт оптимизации форматов, моделей обработки и стеков протоколов обмена данными между компонентами системы ГТ, разработка моделей и методов достижения консенсуса в условиях отложенного взаимодействия в рамках единой системы управления ГТ за счёт разработки логики отложенного взаимодействия на основе теории обработки нечёткой информации.

Исходя из характеристик городской транспортной среды, были выделены необходимые требования к системе управления городским движением, предложена 6-уровневая архитектура блокчейна для применения в этой системе, и представлены задачи исследования. Перспективы работы заключаются в разработке структуры блока и обработке алгоритма консенсуса для каждого блокчейна, а также в разработке моделей и методов обеспечения связности компонентов городского транспорта, в том числе с учётом разрывов взаимодействия.

Литература

1. Y. Yuan and F. Wang. Towards blockchain-based intelligent transportation systems // 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Rio de Janeiro, Brazil. 2016. P. 2663–2668.
2. Kitahara F., Kera K. and Bekki K. Autonomous Decentralized Traffic Management System // Proceedings 2000 International Workshop on Autonomous Decentralized System (Cat. No.00EX449), Chengdu, China. 2000. P. 87-91.
3. Pradip K.S., Seo Y.M., Jong H.P. Block-VN: A Distributed Blockchain Based Vehicular Network Architecture in Smart City // Journal of Information Processing Systems. 2017. V. 13. № 1. P. 184–195.
4. Vittorio A., Vincenzo P.G., Giovanni, Vittorio S. A Review of Blockchain-Based Systems in Transportation // Information. 2020. V. 11. I. 1.
5. Sparsh S. and Ajay K. A Survey on Intrusion Detection Systems and Honeypot based Proactive Security Mechanisms in VANETs and VANET Cloud // Vehicular Communications. 2018. V. 12. P. 138–164.



Горбачев Ярослав Георгиевич
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии
и компьютерной техники,
преподаватель практики,
e-mail: yaroslav-go@yandex.ru



Платунов Алексей Евгеньевич
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии
и компьютерной техники,
д.т.н., профессор,
e-mail: platunov@lmt.ifmo.ru

УДК 004.2

МЕТОД ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЛЕРА

Я.Г. Горбачев

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.Е. Платунов

Аннотация

В работе описан метод документирования ключевых архитектурных решений, принятых при создании программно-аппаратного вычислительного комплекса. Наряду с программным и аппаратным обеспечением, рассматриваются также инструментальный аспект, реконфигурируемые, адаптивные блоки и динамическое поведение системы. Основной задачей метода является борьба со сложностью при описании вычислительных механизмов встраиваемых и киберфизических систем. Польза, ожидаемая от внедрения метода – повышение эффективности повторного использования решений архитектурного уровня. Использование метода проиллюстрировано на примере описания подсистемы дистанционного обновления микропроцессорного контроллера.

Ключевые слова

Повторное использование, архитектурное описание, киберфизические системы, встраиваемые системы, аспектное проектирование, высокоуровневое проектирование, вычислительные механизмы.

Низкая эффективность повторного использования программно-аппаратных решений и сложность передачи опыта между разработчиками являются одними из факторов, которые обуславливают высокую стоимость создания заказных микропроцессорных систем. Перенос программных модулей, даже спроектированных с учётом возможности портирования на другие платформы, очень часто становится источником ошибок и рисков затянуть процесс разработки. Чаще всего ситуация осложняется отсутствием какой-либо документации, кроме исходного кода программы и комментариев, добавление которых является сугубо добровольным делом. При этом, даже при наличии развёрнутых комментариев, они не дают полного понимания

заложенных при разработке в систему механизмов. Подробно проблема повторного использования в области встраиваемых и киберфизических систем рассмотрена в [1]. Проблемы, возникающие при необходимости документирования архитектурного описания многоуровневых систем, подробно описаны в [2-4].

Также следует учитывать то, что работа над программным обеспечением, аппаратурой и инструментальными средствами, как правило, ведётся отдельно, в каждой из этих областей используются свои методы и средства. Это приводит к появлению множества специалистов и даже коллективов с узкой специализацией, которые ориентируются только в рамках своих компетенций, не используют опыт из смежных областей и имеют весьма смутное представление о происходящих вне рамок собственного ограниченного кругозора процессах. Но, при этом, принципы функционирования вычислительных систем на разных уровнях рассмотрения имеют множество схожих черт и могут быть хотя бы частично унифицированы и описаны одними, или по крайней мере очень похожими, средствами.

В предложенном методе для описания вычислительной системы предлагается ликвидировать во многом искусственные границы между программным, аппаратным, инструментальным обеспечением, а также протекающими уже во время функционирования вычислительной системы динамическими процессами. Также предлагается использовать одни и те же инструменты для описания объектов разной степени гранулярности. Такой подход позволит описывать межуровневые архитектурные шаблоны [1] и производить анализ вопросов организации вычислительного процесса с учётом всех существующих в системе вычислительных механизмов, которые зачастую не учитываются при проектировании и, тем более, при переносе программного обеспечения на другие платформы.

Несмотря на очевидные достоинства такого подхода, рассмотрение вычислительной системы с учётом всех факторов и на всех уровнях реализации приведёт к взрывному росту сложности описания. Жизненно необходимы способы: структурировать информацию; вводить границы, альтернативные общепринятым (деление на программное, аппаратное, инструментальное обеспечение и т.д.). Нужна возможность изменять уровень абстракции для ограничения количества одновременно рассматриваемой информации. Описываемый метод как раз направлен на структурирование массива информации, полученного после смешения программных, аппаратных, инструментальных, реконфигурируемых и прочих частей системы.

Суть метода описана набором принципов или последовательностью действий, которые приведены ниже.

Каждая вычислительная система или функциональный блок рассматривается либо как чёрный ящик – когда на рассматриваемом уровне не интересно внутреннее устройство, либо как связанные между собой чёрные ящики – атомарные процессоры – если требуется понять, как система структурно организована внутри.

Далее, один раз выделяется и фиксируется для дальнейшего использования общее для всех случаев ядро (рис. 1), состоящее из обязательных и минимально необходимых для создания и функционирования любой вычислительной системы действий. Сами вычисления реализуются чёрными ящиками – атомарными процессорами – а остальные функциональные блоки только обеспечивают их связь между собой и корректную совместную работу. Не описывается, каким именно образом производятся действия.

Ядро состоит из трёх ортогональных областей, которые графически представлены как отдельные столбцы, по которым рассортированы обязательные действия. Эти столбцы – атомарные вычисления и реализующая их инфраструктура: подсистема управления данными и подсистема управления порядком вычислений, которая отвечает за причинно-следственные связи и решение вычислительной задачи правильной последовательностью атомарных базовых вычислений. Выполнение действий,

образующих ядро, в общем идеальном случае производится по порядку, сверху вниз, однако процессы итеративные, и с любого из действий может произойти «откат» к более раннему действию. Также возможен пропуск некоторых действий (например, может быть пропущено «сохранение результата» в столбце «вычисления»). «Получение данных» и «предоставление данных», «вычисление» и «запуск вычисления» обязательно должны быть совместимыми. Фактически это некие интерфейсы, с помощью которых основной вычислительный блок интегрируется в систему.



Рис. 1. Ядро

Затем производится описание поведения идеальной системы (иначе говоря, системы, не ограниченной рамками физического мира) через подробное описание алгоритмов выполнения каждого из обязательных действий ядра. Другими словами – модель удовлетворения функциональных требований отображается на структурную модель ядра системы, описанную на предыдущем шаге, когда каждому из абстрактных действий базового и общего для всех систем ядра ставится в соответствие цепочка конкретных действий, или механизмов, используемых в рассматриваемой системе.

Для каждого действия (механизма) выбирается реализация на какой-либо технологической платформе. Платформа обязательно включает в себя аппаратный блок, на котором реализуется действие, но может также в любых пропорциях содержать программные части и действия, выполняемые в процессе функционирования и на этапе проектирования, при необходимости – может делиться на системное, прикладное, встроенное программное обеспечение и т.д.

Выявляются все отклонения реальной системы, полученной после выбора технологической базы для всех действий, от идеальной системы, описанной ранее.

К базовым механизмам, реализующим основную функциональность системы, добавляются все необходимые дополнительные механизмы, направленные на компенсацию всех недостатков и побочных эффектов реализации.

Последовательность действий, которая производится при расписывании каждого из элементов ядра, приведена на рис. 2. При этом явно не указывается, но предполагается, что каждое из действий может быть при необходимости разбито на инструментальную часть реализации (создание инструментария, призванного помочь впоследствии в разработке), и собственно использование инструментария.

Динамическая часть реализации объединяет всё воедино – на платформе из технологической базы, реализованной на какой-либо аппаратуре, с «прошитым» в систему программным обеспечением, которые созданы с помощью инструментария, протекают динамические процессы – которые и формируют желаемое поведение системы, позволяя добиться удовлетворения заданных функциональных требований.

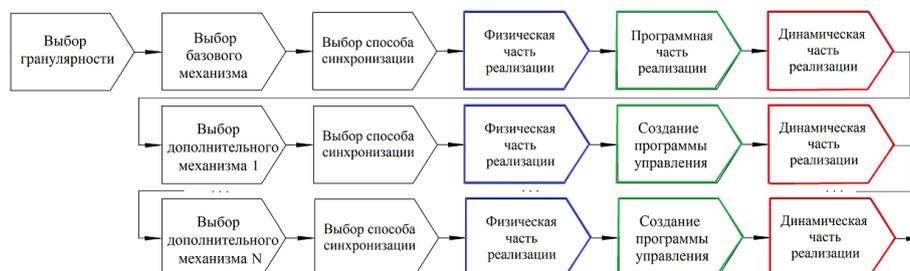


Рис. 2. Последовательность действий при создании каждого из элементов ядра

Таким образом, получается описание вычислительной системы как цепочек из базовых действий (механизмов) и их реализаций на какой-либо выбранной технологической платформе, иначе говоря – каждый функциональный блок может быть программным обеспечением, которое работает на некоторой аппаратуре, чисто аппаратным блоком, и т.д. Выбор, что считать технологической платформой, а что – прикладным функционалом системы, делается разработчиком в зависимости от конкретных задач и того, что именно необходимо описать и представить.

Даже в таком виде полное описание вычислительной системы видится очень громоздким, поэтому предлагается описать систему сначала без высокой детализации, на высоком уровне абстракции, после чего выделять отдельные функциональные блоки и рассматривать их детально уже по отдельности. Может использоваться библиотечный принцип, когда каждый из механизмов реализуется «чёрными ящиками», которые были ранее подробно описаны на более низких уровнях абстракции, но в рамках конкретной системы рассматриваются как атомарные объекты. Для облегчения описания в некоторых ситуациях возможен облегчённый вариант, когда реализации разных элементов ядра не расписываются детально формальным образом, а описываются кратко в текстовом виде. Такой подход может быть полезен, когда фокус должен быть на каком-то отдельном модуле системы, а остальные устройства этой системы для понимания сути происходящих процессов достаточно примерно представлять.

В качестве иллюстрации использования метода рассмотрим пример – документирование подсистемы удалённого обновления программного обеспечения контроллера на базе процессора STM32. Задачей подсистемы является доставка актуальной прошивки через сеть MODBUS от сервера, выполняющего роль мастера сети, до контроллера, и её запись во FLASH память контроллера.

Неформальное, текстовое описание основных элементов ядра звучит следующим образом. Система – программа на микропроцессоре STM32. Гранулярность вычислений принимаем как «корневые» функции, отвечающие каждая за некую часть функционала системы, которые запускаются по очереди из бесконечного цикла. Функции – логически обособленные последовательности управляющих команд для обработки данных процессором. Получение данных функциями осуществляется через глобальные переменные (чтение RAM через шину данных, также под управлением команд процессора). Получение данных от функций – глобальные переменные и прямое управление подсистемами микроконтроллера (запись в RAM и управляющие регистры через шину данных микроконтроллера, также под управлением команд процессора).

Коммутация данных осуществляется через помещение данных со входов в глобальные переменные средствами обработчиков прерываний, и наоборот, из переменных на выходы. Получение данных – преобразование аппаратными блоками внешних сигналов в цифровое внутреннее представление.

Правила вычислений – корневые функции, граф управления и зависимости данных – формирует вручную программист, когда на языке высокого уровня описывает весь алгоритм работы, включая обращение по конкретным адресам – управляемым устройствам. Далее запускается компилятор, преобразующий алгоритм из описания на языке высокого уровня в машинный код, также используются доступные для использования библиотеки с открытым исходным кодом. После этого полученная последовательность команд процессора прошивается в память и выполняется последовательно (с возможностью условных, безусловных переходов и т.д.).

Изменение поведения системы осуществляется через обновление программы контроллера, которая включает в себя информацию о всех трёх составляющих ядра – включая данные, вычисления и управления порядком вычислений.

Идеальный алгоритм обновления программы состоит из трёх действий:

- получение новой прошивки;
- мгновенная доставка единым блоком до контроллера;
- мгновенная запись во FLASH.

Идеальную модель следует скорректировать для соответствия с условиями внешнего мира. Кроме прочих, следует учитывать такие факторы, как: возможные помехи в канале передачи данных, неатомарность действий (верно для любых программных систем), возможные изменения условий эксплуатации, ограничения протокола MODBUS, взаимодействие только в режиме master/slave, необходимость «встраивать» новый модуль в существующую программу.

Чтобы далее детализировать описание, выбираем из трёх составляющих идеального алгоритма одно действие – «доставка прошивки контроллеру» (рис. 3).

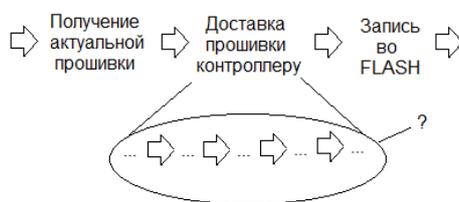


Рис. 3. Детализация идеального алгоритма

Реальный алгоритм обновления будет выглядеть следующим образом:

- разбиение файла прошивки на блоки не более 128 байт;
- добавление «шапки» протокола MODBUS RTU;
- добавление CRC16;
- отправка пакета через преобразователь интерфейса RS-485;
- молчание в течение периода 3,5 символа после передачи пакета;
- преобразование сигнала микросхемой на плате контроллера из RS-485 в UART;
- приём байта пакета контроллером UART;
- передача байта обработчику прерывания и добавление его в буфер;
- детектирование молчания в 3,5 символа и проверка полученного пакета;
- при успешной проверке запись в память маркера наличия пакета;
- запись соответствующим драйвером полученных данных во FLASH;
- формирование ответа MODBUS-мастеру;
- переход в режим ожидания нового пакета.

На рис. 4 показан весь алгоритм из детализированных действий с пометками, какими средствами что реализуется – аппаратно или программно.

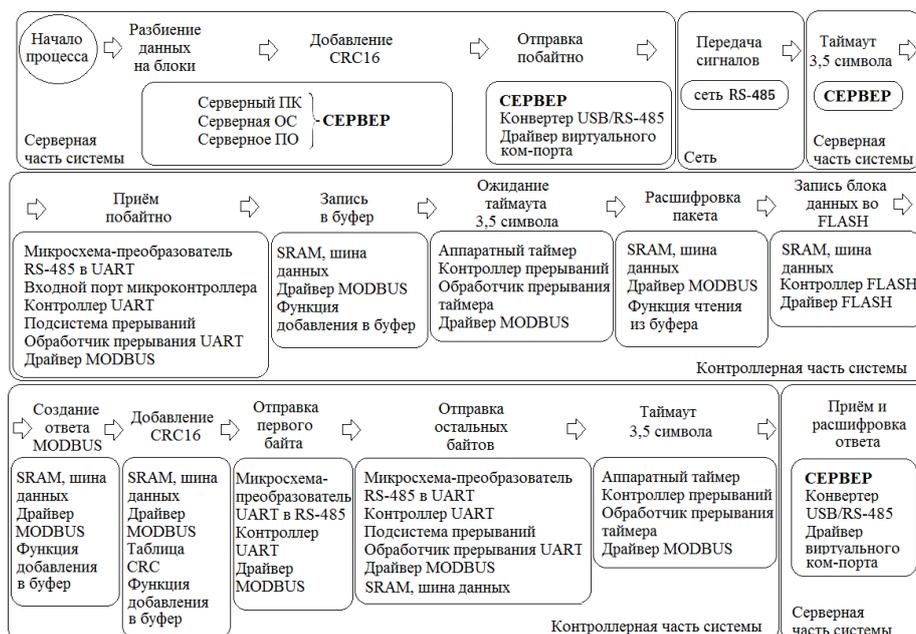


Рис. 4. Алгоритм записи данных в устройство

Далее подобным же образом следует детализировать остальные два действия процесса обновления – «получение актуальной прошивки» и «запись во FLASH». Все три цепочки можно объединить в одну, но такое описание будет громоздким и неудобным – предпочтительнее описывать каждую из последовательностей действий отдельно, при этом имея в виду, что они составляют единое целое. Также стоит помнить, что все последовательности действий представляют собой итеративные процессы, некоторые действия могут повторяться множество раз до тех пор, пока не будет достигнута преследуемая цель.

Литература

1. Pinkevich V., Platunov A., Gorbachev Y. Design of embedded and cyber-physical systems using a cross-level microarchitectural pattern of the computational process organization // CEUR Workshop Proceedings - 2021, Vol. XX, pp. XX-XX (in press) / Pinkevich V., Platunov A., Gorbachev Y. // CEUR Workshop Proceedings – 2021. 2021. Pp. (in press).
2. Пенской А.В. Архитектурное документирование встроенных систем с многоуровневой конфигурацией // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. № 7. С. 527-532.
3. Platunov A., Kluchev A., Penskoï A. HLD Methodology: The role of architectural abstractions in embedded systems design // Proc. of the 14th Intern. Multidisciplinary Scientific GeoConference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing (SGEM 2014), Albena, Bulgaria. 2014. P. 209-218.
4. Platunov A., Kluchev A., Penskoï A. Expanding design space for complex embedded systems with HLD methodology // Proc. of the 6th Intern. Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 6-8 Oct. 2014, St. Petersburg. P. 157-164.



Городянский Павел Олегович

Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №N42001,
Направление подготовки: 23.04.03 – Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов,
e-mail: gorodyanskiy@outlook.com



Кайсина Ирина Алексеевна

Год рождения: 1994
ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»,
Кафедра «Сети связи и телекоммуникационные системы»,
старший преподаватель,
e-mail: irinakayisina25@gmail.com



Виксин Илья Игоревич

Год рождения: 1992
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: wixnin@mail.ru

УДК 004.896

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОЙ ПОСАДКИ
БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СРЕДСТВА В НЕШТАТНЫХ
СИТУАЦИЯХ**

**П.О. Городянский, И.А. Кайсина
Научный руководитель – к.т.н., доцент И.И. Виксин**

Аннотация

В работе представлены результаты исследования существующих нештатных ситуаций для беспилотного воздушного средства в случае потери спутникового сигнала, а также разработанные методы и алгоритмы действий, в том числе осуществление аварийной посадки. Продемонстрированы результаты симуляции разработанной системы, проведенной в среде Gazebo, и эксперимента, в ходе которого проведён анализ скорости беспилотного воздушного средства при его взлёте и посадке.

Ключевые слова

Автоматическая посадка, беспилотное воздушное средство, спутниковый сигнал, управление движением, Gazebo, GPS.

В настоящее время беспилотные воздушные средства (БВС) используются повсеместно, в основном для задач, трудозатратных для человека, таких как съемка и

мониторинг объектов на местности с воздуха. Поэтому задачи безопасной посадки БВС и разработка методов и алгоритмов для ее осуществления являются крайне актуальными. Эта область исследования находится в постоянном развитии, регулярно появляются новые решения в области управления движением и позиционирования БВС.

Факторами, которые могут повлиять на безопасную посадку БВС и привести к нештатным ситуациям, являются [1]:

- отказ или поломка элементов системы;
- разряд аккумуляторной батареи;
- отказ датчиков;
- потеря связи с внешним пилотом;
- влияние погодных условий.

В работе проведено исследование и разработка алгоритмов действий, а также аварийной посадки в случае потери спутникового сигнала, так как эта проблема является одной из наиболее актуальных [3]. При потере спутникового сигнала у БВС отсутствует возможность перемещаться в нужную точку местности, так как возникают проблемы получения актуальных и точных данных о местоположении транспортного средства. Также в этом случае внешнему пилоту невозможно отследить перемещения БВС, что может привести к полной потере связи с БВС и его дальнейшему крушению.

В случае нештатной ситуации, связанной с потерей связи модулем GPS (global positioning system), его отказом или поломкой, возможно использование следующих приемов и методов [4]:

- предупреждение внешнего пилота об обнаруженной проблеме;
- использование нескольких датчиков и получение с них данных для осуществления поиска оптимального места посадки и непосредственно принятия решения о безопасной посадке БВС на местности.

Для реализации эксперимента проверка стабильности спутникового сигнала реализуется на основе считываемых и обрабатываемых данных о местоположении БВС и количестве видимых спутников в текущий момент времени. В случае установленного нестабильного или утерянного спутникового сигнала реализован алгоритм действий беспилотного воздушного средства, представленный на рис. 1, предполагающий несколько вариантов, в зависимости от статуса спутникового сигнала.

Алгоритм включает предупреждение внешнего пилота о нестабильном сигнале, уведомление с рекомендацией перехода в ручной режим управления, автоматические действия, в том числе аварийная посадка, в случае длительной потери спутникового сигнала.

Проверка стабильности спутникового сигнала реализована с использованием разработанного алгоритма, представленного на рис. 2, проверяющего условия при считывании данных о местоположении БВС и количестве видимых спутников в текущий момент времени:

- сигнал считается утерянным в случае, если количество видимых спутников равно нулю;
- сигнал считается нестабильным в случае, если количество видимых спутников меньше 7-ми или изменение значений координат БВС относительно предыдущих по широте, долготе или высоте при переводе в метры больше 4-х метров.

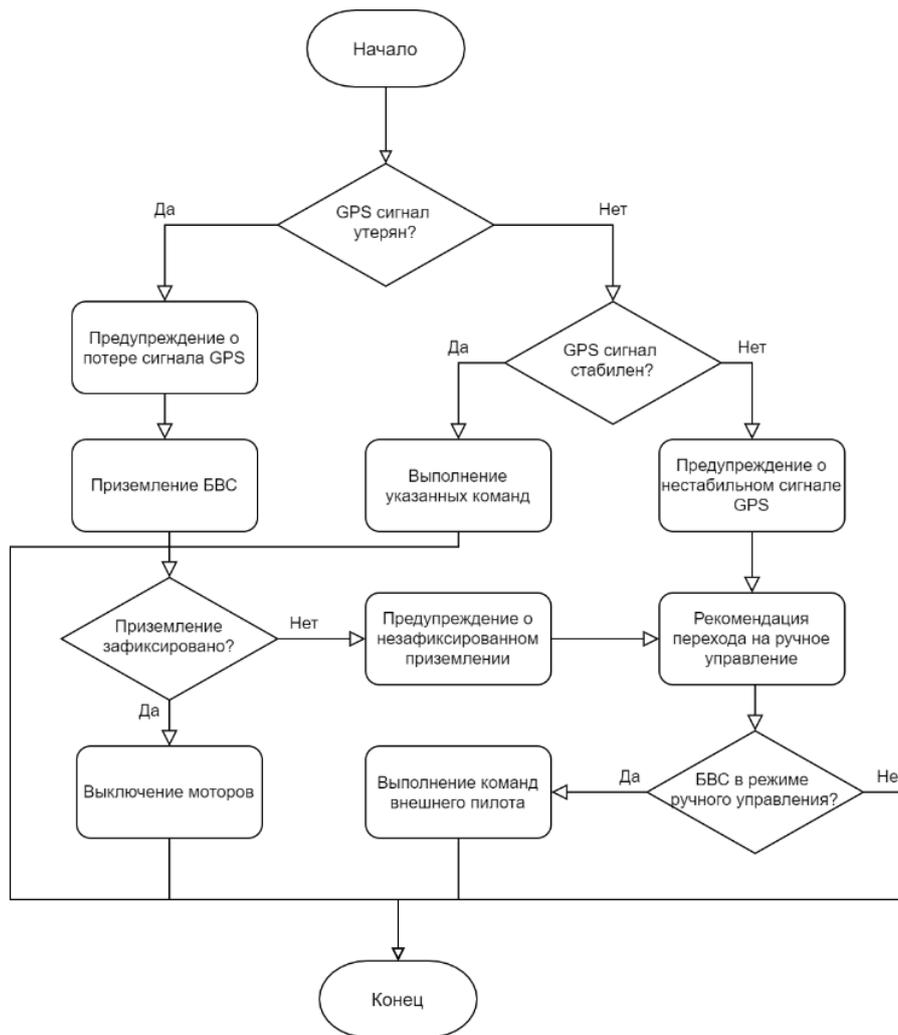


Рис. 1. Блок-схема алгоритма при нестабильном спутниковом сигнале

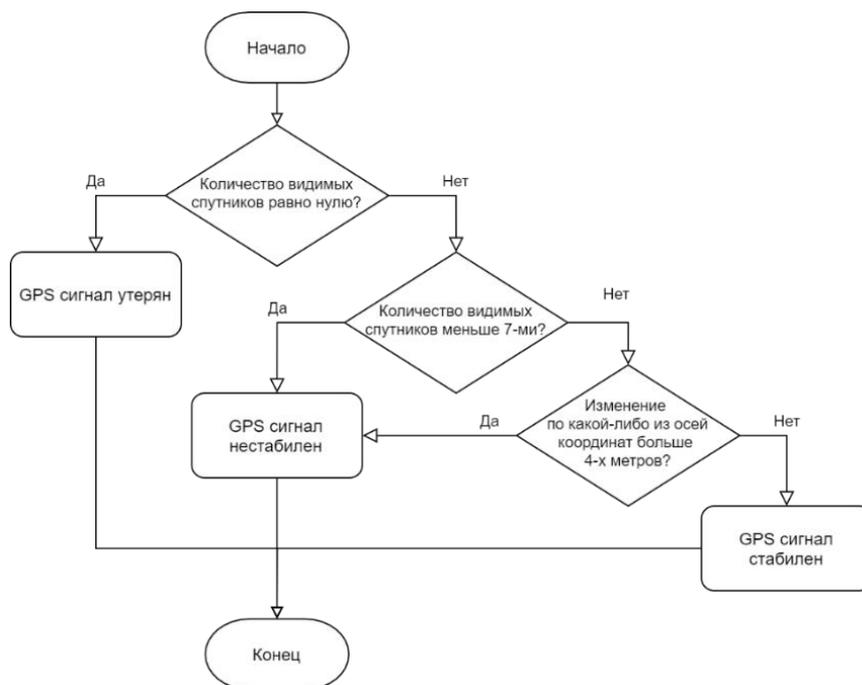


Рис. 2. Блок-схема алгоритма проверки стабильности спутникового сигнала

Для программной реализации использован язык программирования Python 3.7 и библиотеки для взаимодействия с системой БВС, краткое описание которых представлено в табл. 1.

Таблица 1

Описание библиотек, используемых для реализации программного кода

Библиотека	Описание
asyncio	Библиотека для возможного асинхронного выполнения команд.
py mavlink	Библиотека для взаимодействия с системой БВС.

В качестве начальных передаваемых команд выбраны команды запуска моторов, взлёта и посадки БВС. Краткое описание реализованных функций для проведения эксперимента представлено в табл. 2.

Таблица 2

Назначение разработанных функций программного кода

Функция	Описание
arducopter_arm()	Функция для проверки статуса работы моторов и их запуска в случае, если они не запущены.
arducopter_takeoff()	Функция для осуществления взлёта БВС в текущей точке местности на заданную высоту.
arducopter_land()	Функция для осуществления посадки БВС в текущей точке местности.
current_location()	Функция для определения текущего местоположения БВС
gps_check()	Функция для проверки состояния спутникового сигнала.
wait_for_height()	Функция для проверки достижения БВС заданной высоты на местности в процессе взлёта.

Для моделирования работы системы БВС выбрана среда Gazebo [2]. Она удобна тем, что в ней возможна как реалистичная передача окружающей среды, так и взаимодействие с системой БВС напрямую из командной строки операционной системы, стороннего программного обеспечения или самостоятельно разработанных скриптов.

Для проверки правильного взаимодействия и возможности управления БВС с помощью запуска скрипта с программным кодом был реализован следующий алгоритм:

1. Соединение с БВС с помощью MAVLink (micro air vehicle link) соединения и ожидание отклика командами:

- `vehicle = mavutil.mavlink_connection('udpin:localhost:14540');`
- `vehicle.wait_heartbeat();`

2. Получение и вывод данных о текущем местоположении для определения начальной точки местонахождения БВС.

3. Проверка и вывод статуса получаемого спутникового сигнала.

4. Запуск моторов и взлёт БВС.

5. Ожидание достижения БВС заданной высоты.

6. Совершение посадки на местности.

Пример работы разработанного скрипта и одновременного взаимодействия с системой БВС в среде Gazebo представлен на рис. 3.

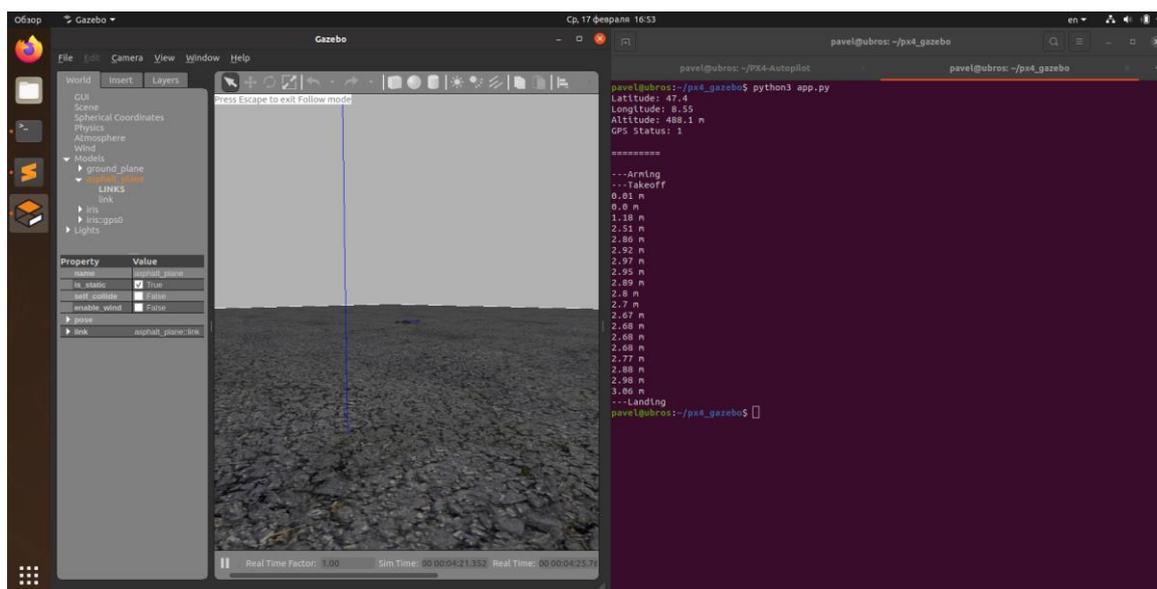


Рис. 3. Пример запуска программы и симуляции в Gazebo

В табл. 3 представлены результаты эксперимента, которые будут учитываться в дальнейшей работе при разработке системы безопасной посадки БВС, а именно среднее время на выполнение команд взлёта до достижения заданной высоты и посадки до полной остановки БВС.

Таблица 3

Результаты эксперимента

№ п/п	Заданная высота, м	Среднее время взлёта, сек	Среднее время посадки, сек
1	3	7.36	8.40
2	5	8.66	11.37
3	10	12.35	16.39

Из результатов эксперимента можно сделать вывод о том, что при взлёте БВС средняя скорость БВС (0.60 м/с) выше, чем при посадке (0.47 м/с), поэтому для выполнения команды посадки БВС требуется больше времени, нежели для взлёта.

В ходе работы рассмотрена нештатная ситуация, влияющая на безопасное движение БВС, в случае потери спутникового сигнала, разработаны методы реагирования системы БВС в случае возникновения этой нештатной ситуации, а также построена и протестирована модель БВС в симуляторе Gazebo с использованием разработанного программного кода, осуществляющего взаимодействие с системой БВС.

В дальнейшей работе планируется модернизация и оптимизация программного кода для выполнения условий алгоритма действий БВС в условиях нестабильного спутникового сигнала, а также анализ и реализация методов использования датчиков в случае возникновения рассматриваемой нештатной ситуации.

Литература

1. Сергушов И.В., Абакумов А.В., Ульянина Ю.А., Ермаков Р.В., Львов А.А., Кузьменко И.К., Лившиц Д.Ю., Гуцевич Д.Е. Осуществление посадки беспилотного летательного аппарата на неподготовленную посадочную площадку с применением системы лазерных излучателей // НиКа. 2018.

2. D'Urso F., Santoro C., Santoro F.F. An integrated framework for the realistic simulation of multi-UAV applications // *Computers & Electrical Engineering*. Volume 74. 2019. PP. 196-209, ISSN 0045-7906.
3. Heng Deng, Usman Arif, Kun Yang, Zhiyu Xi, Quan Quan, Kai-Yuan Cai. Global optical flow-based estimation of velocity for multicopters using monocular vision in GPS-denied environments // *Optik*. Volume 219. 2020. 164923. ISSN 0030-4026.
4. Xuan-Mung N., Hong S.K., Nguyen N.P., L.N.N.T. Ha and Le T.-L. Autonomous Quadcopter Precision Landing Onto a Heaving Platform: New Method and Experiment // *IEEE Access*, vol. 8. pp. 167192-167202. 2020.



Дакуо Жан-Мишель Никодэмович

Год рождения: 1998

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы №41504с,

направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,

e-mail: jeandakuo@mail.ru



Таранов Сергей Владимирович

Год рождения: 1991

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н., доцент,

e-mail: serg.tvc@gmail.com

УДК 004.056.53

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ БЛОЧНЫХ ЛЕГКОВЕСНЫХ ШИФРОВ ОТ АТАК ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО КРИПТОАНАЛИЗА, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ВНЕДРЕНИЕ АДАПТИВНЫХ ОШИБОК Ж.-М. Н. Дакуо

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.В. Таранов

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

В ходе работы были исследованы две атаки дифференциального криптоанализа с внедрением адаптивной ошибки (DFA): внедрение нулевой ошибки и атака на таблицы замены. Были предложены способы противодействия этим атакам для блочных легковесных шифров.

Ключевые слова

Шифр Present, S-box, дифференциальный криптоанализ с внедрением ошибки, нулевая ошибка, система Current Error Detection (CED).

Всё чаще повседневные вещи изменяются путем встраивания в них миникомпьютеров-помощников. Массовое распространение «Повсеместных вычислений» влечет за собой множество преимуществ (например, удобство использования технологий), но, с другой стороны, есть и значительные недостатки – многие из этих устройств чувствительны к безопасности. Так как и свободное пространство внутри девайсов, и энергоёмкость, и сложность отдельных составных частей устройства – это сильно ограниченные ресурсы, поэтому они прямо влияют на стоимость. Для решения возникших вопросов необходимо обратиться к легковесной криптографии [3-5].

Большинство легковесных шифров проектируются с оглядкой на возможности их атаки с использованием дифференциального криптоанализа (ДК). S-box алгоритм шифрования Present не стал исключением. По формуле (1) видно, что таблицы замены

устойчивы к ДК. А использование их в сочетании со слоем перестановки дает сложность вычисления 2^{100} после прохождения 20 раундов из 31.

$$\{x \in F_2^4 \mid |S(x) + S(x + \Delta_I)| = \Delta_o\} \leq 4, \quad (1)$$

Формула (1) гласит, что для всех комбинаций входного дифференциала количество повторяющихся выходных дифференциалов не превышает 4. Другими словами, если через функцию, удовлетворяющую этому условию, пропустить все возможные 4-х битные слова, то на выходе S-box'a будет получено не больше 4-х повторяющихся значений. Но Present уязвим для комбинированных атак ДК с внедрением адаптивных ошибок. В работе [1] у криптоаналитиков получилось за 2 часа с использованием 2 компьютеров и 10 000 раундов получить последний раундовый ключ и 4 4-битных вектора предпоследнего раундового подключа. Сложность всей атаки составила $2^{36.3}$. Атака строится на анализе квадрата евклидового расстояния до нормального распределения выходных значений раундов шифрования Present. При правильно угаданном значении полубайта ключа появляется значительная аномалия в значениях евклидовых расстояний.

Рассмотрим атаку на таблицу замены S-box'a более подробно. Для этого мной была разработана программа, моделирующая внедрение различных ошибок в шифр. Используем продвинутую модель злоумышленника, который может внедрять ошибки и задавать любой характер ошибки - ее кратность или точный вектор ошибки, он может коррелировать ее с входными данными. Другими словами, он использует функциональные зависимости для внедрения ошибок. Рассмотрим ошибку вида $error = F(x) = (a * x + b)$. Выходное значение S-box $S'(x) = S(x) * error$. Результаты анализа зависимости выходных дифференциалов от входных при внедрении функциональной ошибки представлены на рис. 1.

Диф. выход	0x0	0x1	0x2	0x3	0x4	0x5	0x6	0x7	0x8	0x9	0xA	0xB	0xC	0xD	0xE	0xF
Диф. вход 0x0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Диф. вход 0x1	2	4	0	0	0	0	4	0	2	0	0	2	2	0	0	0
Диф. вход 0x2	2	0	0	0	2	0	2	0	0	0	2	2	6	0	0	0
Диф. вход 0x3	0	0	0	0	2	0	2	2	0	0	2	0	4	4	0	0
Диф. вход 0x4	0	6	0	0	0	2	0	2	0	0	0	4	2	0	0	0
Диф. вход 0x5	2	2	0	0	0	0	0	2	0	2	4	0	0	4	0	0
Диф. вход 0x6	2	2	0	0	0	2	0	4	0	0	0	2	0	4	0	0
Диф. вход 0x7	0	2	0	2	0	0	6	0	0	0	0	2	0	4	0	0
Диф. вход 0x8	2	2	0	0	2	0	0	0	0	4	2	2	2	0	0	0
Диф. вход 0x9	0	2	2	0	0	0	0	2	0	0	4	2	4	0	0	0
Диф. вход 0xA	2	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2	0	0	2	0	2
Диф. вход 0xB	2	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	2	2	2	0	0
Диф. вход 0xC	2	4	0	0	0	0	0	0	2	0	2	4	0	2	0	0
Диф. вход 0xD	4	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4	2	2	0	0	0
Диф. вход 0xE	0	4	0	0	2	0	0	4	0	0	2	0	2	2	0	0
Диф. вход 0xF	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0	2	4	2	0	0

Рис. 1. Зависимость выходных значений дифференциала S-box'a Present от входных дифференциалов при внедрении функциональной ошибки равной $F(x) = 0x9 * x$

Функциональная ошибка нарушила обычное распределение, установленное (1), выходных значений дифференциалов. То есть вероятность появления определённого дифференциала при заранее заданном входном дифференциале превышает 2^{-2} . В нашем случае равна $\frac{6}{16} = 3 * 2^{-3}$, что делает S-box Present уязвимым к дифференциальному криптоанализу.

Также существует «нулевая атака» на шифр. Она заключается в том, что перед последним замешиванием раундового ключа злоумышленник внедряет ошибку, обнуляя один из битов шифр текста. Что, в свою очередь, позволяет после побитового сложения по модулю два с раундовым ключом получить на выходе один из его битов. И после 64

повторений и меняя вектор атаки, злоумышленник сможет получить последний раундовый ключ целиком. И тем самым облегчить себе задачу по получению следующих частей ключа и полное получение исходного ключа шифрования. Схема атаки представлена на рис. 2.

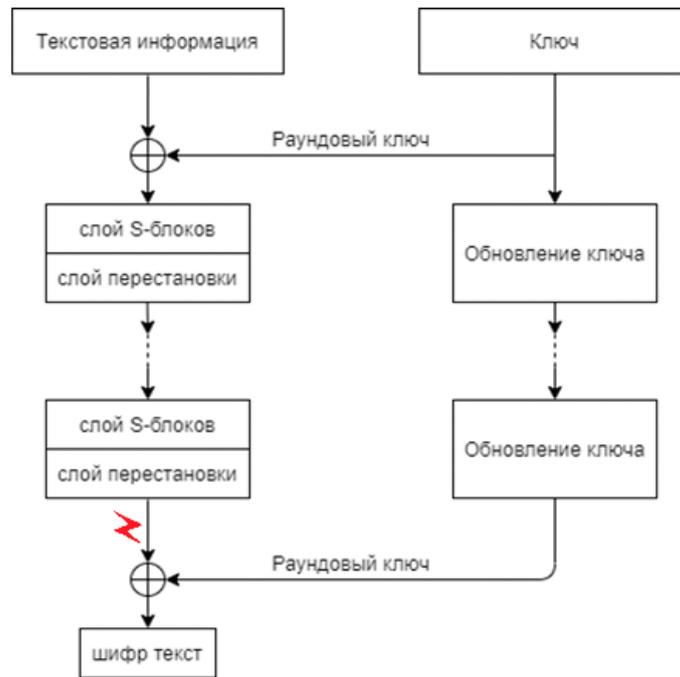


Рис. 2. Схема атаки «нулевой атаки» на шифр Present

Для противодействия этим ошибкам можно использовать различные контрмеры. Первое, что можно использовать – это разработать новый S-box на основе дополнительного условия устойчивости (2). Дополнительное условие позволяет функции из безопасного полинома, пройдя через преобразования, вызванные внедрением ошибки, перейти в такой же безопасный полином.

$$\{x \in F_2^4, y \in F_2^4 \mid (S(x) + S(x + \Delta_I)) + f(y)_{\Delta_I} \mid = \Delta_O\} \leq 4, \quad (2)$$

где $f(y)_{\Delta_I}$ – функция ошибки.

Второе, что можно противопоставить злоумышленнику, который может вносить изменения в шифрующую схему только путем изменения напряжения в сети, к которой подключено шифрующее устройство. Схема дифференциальной защиты представлена на рис. 3.

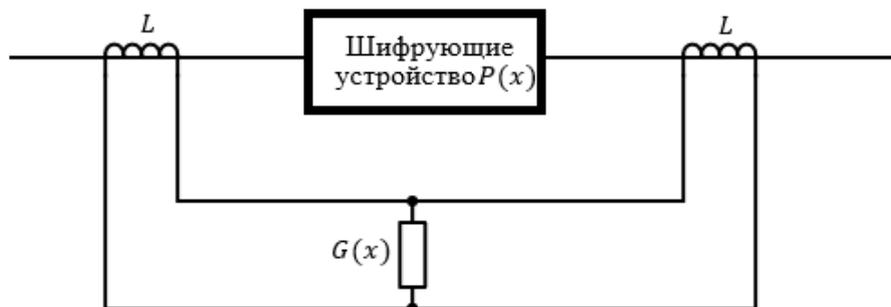


Рис. 3. Схема Present с подключенной обнаружителем внедрения ошибок

Ее идея заключается в том, что при аномальном токе в сети в катушках L образуется ток индукции, и контролер $G(x)$, подключенный к ним, сможет распознать несанкционированный доступ, и оператору получится вовремя предпринять необходимые действия.

Третье. Для противодействия дифференциальному криптоанализу с внедрением адаптивной ошибки можно использовать систему обнаружения ошибок CED. Для защиты от атак дифференциального криптоанализа с внедрением ошибки можно использовать систему обнаружения атак [2]. Использование системы функционального контроля позволит еще на этапе производства шифрующего устройства защитить его от атак, связанных с нарушением работы алгоритма шифрования. Пример схемы устройства с использованием CED показан на рис. 4, где $x_1, x_2 \dots x_{64}$ – это биты входной информации, блок $P(x)$ – это шифр, $G(x)$ – это функциональный контролер, $p(x_1), p(x_2) \dots p(x_{64})$ – выход с $P(x)$, $g(x_1), g(x_2) \dots g(x_{64})$ – выход с $G(x)$, $z_1(x)$ и $z_2(x)$ – выход с тестера.

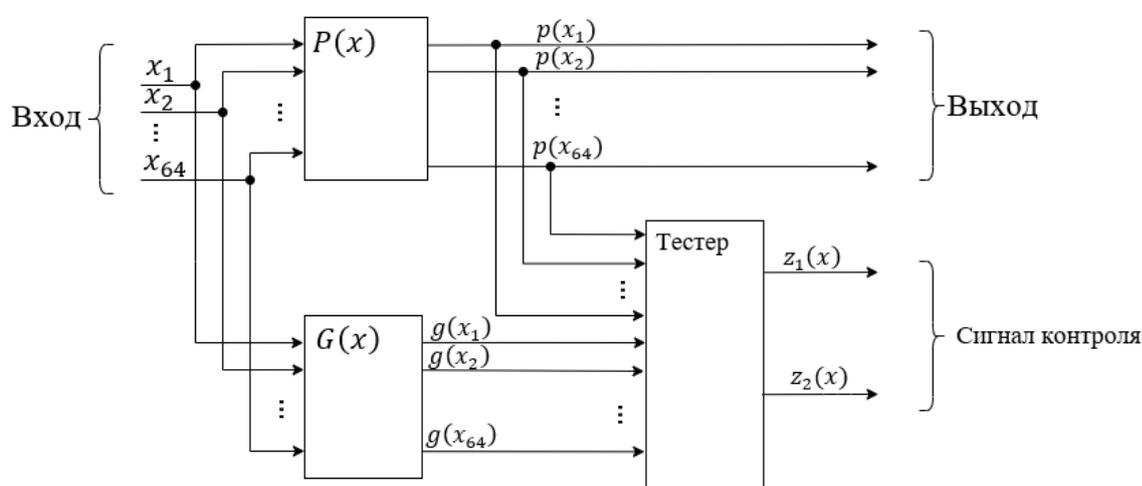


Рис. 4. Схема Present с подключенной к ней системой CED

Принцип работы данной схемы $G(x)$ будет дублировать $P(x)$ с тем же ключом шифрования. На вход $P(x)$ и $G(x)$ получают одинаковые сигналы $P = x_1x_2 \dots x_{64}$. В тестере выходы с них сопоставляются $p(x_i) == g(x_i)$, и если они равны, то тестер выдаёт сигнал $z_1(x)$, в противном случае $p(x_i) \neq g(x_i) - z_2(x)$.

В ходе работы над статьей были разобраны два примера различных атак DFA и разработаны способы противодействия им. Каждый из них имеет свои достоинства и может быть использован для устранения уязвимостей умных устройств, в зависимости от имеющихся ресурсов. В дальнейшем планируется рассмотреть другие атаки DFA, а также иных представителей легковесной криптографии.

Литература

1. Gu D. [и др.]. Differential Fault Analysis on Lightweight Blockciphers with Statistical Cryptanalysis Techniques 2012. 27–33 с.
2. Обнаружение опасных ошибок на рабочих выходах комбинационных логических схем [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obnaruzhenie-opasnyh-oshibok-na-rabochih-vyudah-kombinatsionnyh-logicheskikh-shem/viewer> (дата обращения: 26.12.2020).

3. Bogdanov A. и др. PRESENT: An Ultra-Lightweight Block Cipher Lecture Notes in Computer Science / под ред. P. Paillier, I. Verbauwhede, Berlin. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2007. 450–466 с.
4. Poschmann A. Lightweight Cryptography – Cryptographic Engineering for a Pervasive World. 2009.
5. Wayback Machine [Электронный ресурс]. URL: <https://web.archive.org/web/20070615132907/http://www.research.ibm.com/journal/rd/383/coppersmith.pdf> (дата обращения: 13.01.2021).



Данешманд Бехруз Мехди
Университет ИТМО,
факультет инфокоммуникационных технологий,
аспирант,
направление подготовки: 11.06.01 – Электроника,
радиотехника и системы связи,
e-mail: daneshmandbehrooz@gmail.com



Грудинин Владимир Алексеевич
Университет ИТМО,
факультет инфокоммуникационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: vlad@digiton.ru

УДК 004.4:004.7

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ 5G/ИМТ-2020

Б.М. Данешманд

Научный руководитель – к.т.н., доцент В.А. Грудинин

Аннотация

Целью данной работы является разработка онтологического подхода к анализу программно-конфигурируемых сетей в 5G / ИМТ-2020. С использованием системного подхода проведен анализ технологических и архитектурных решений, связанных с развитием SDN в сети связи 5G / ИМТ-2020. С использованием онтологического моделирования мы предложили две семантические модели в сети SDN: первая – семантическая модель технологий openflow в сети SDN. (OpenFlow – первый ведущий авторизованный коммуникационный интерфейс, связывающий уровни пересылки и управления в архитектуре SDN), второй – семантическая модель северного интерфейса в сети SDN (этот протокол позволяет взаимодействовать между уровнем контроллера и уровнем приложений). С помощью онтологического моделирования была разработана семантическая модель сети SDN как важный элемент в описании сети 5G / ИМТ-2020, основанной на знаниях.

Ключевые слова

5G/ИМТ-2020, сеть связи, программно-конфигурируемая сеть, технология, Онтологическая модель, семантическая модель.

Введение

SDN (Программно-конфигурируемые сети) [1] происходит от проекта «Чистый сланец», возглавляемого Стэнфордским университетом. SDN разделяет логику управления и логику пересылки коммутационного устройства, образуя сравнительно независимую плоскость управления и плоскость данных. Плоскость пересылки находится в распределенных коммутаторах, реализующих относительно простую логику пересылки для достижения высокой эффективности. Плоскость управления находится в логически центральном контроллере, который поддерживает представление глобальной сети для централизованного управления всей сетью с помощью программно конфигурируемых сложных функций управления. В архитектуре SDN, определенной

ONF (Open Networking Foundation), уровни управления и пересылки взаимодействуют с открытым и стандартизированным протоколом OpenFlow¹ [2], который устраняет барьеры проприетарных сетевых протоколов и устройств, прокладывая путь для сетевых инноваций и развития. Таким образом, OpenFlow является стандартным южным интерфейсом (т.е. Интерфейсом между контроллерами и коммутаторами), широко принятым в академических кругах и промышленности.

Программно-конфигурируемые сети (SDN) должны стать неотъемлемой частью предлагаемых сетей 5G/ИМТ-2020. 5G считается гетерогенной высокоскоростной сетью, которая имеет несколько дополнительных функций. Обеспечение всех этих расширенных функций довольно сложно, а контроль всех сетевых операций - гигантская задача. При традиционном подходе невозможно обеспечить эффективный контроль и управление сетью. Более того, виртуализация сетевых функций становится неотъемлемой частью сетей. При всех этих сложностях SDN - единственное решение, доступное для сложных сетей 5G/ИМТ-2020 [3]. Потенциал открытой программируемости и логически централизованного управления знаниями в парадигме SDN предлагает привлекательный подход для множества технологий и приложений [4]. Для эффективного изучения сетей 5G/ИМТ-2020 предлагается применить онтологический анализ, который позволяет сформировать единое семантическое пространство для описания объектов 5G/ИМТ-2020, выделить и логически связать новые понятия и определения в их взаимосвязи и взаимозависимости (рис. 1).

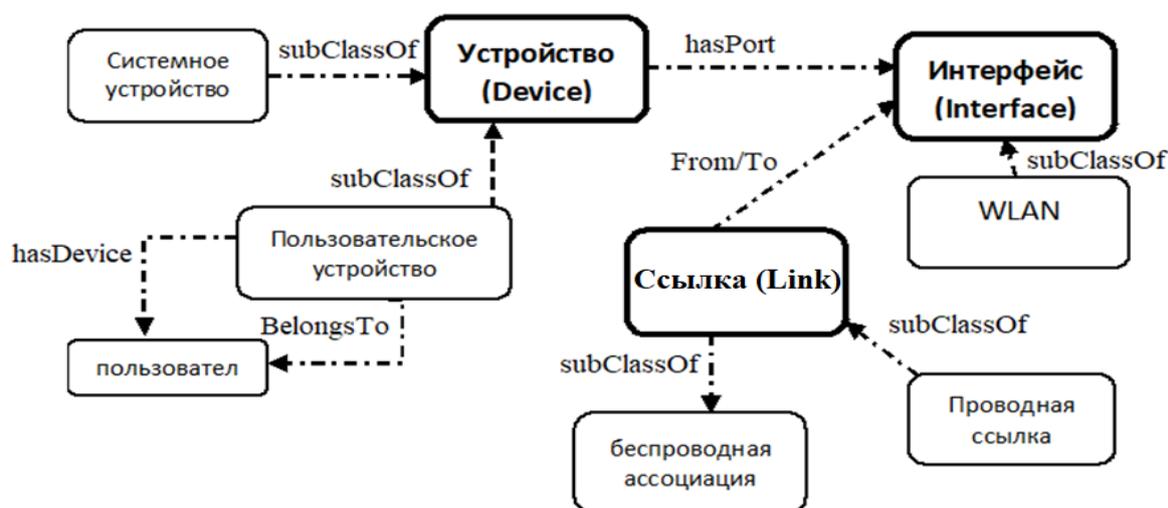


Рис. 1. Онтология для телекоммуникационных сетей

В процессе моделирования сети с разными технологиями доступа обнаруживают повторяющиеся структурно похожие шаблоны знаний, как показано на рисунке. независимо от того, какую сеть мы моделируем, по сути, это все устройства с интерфейсами, через которые мы можем подключаться. Хотя у них разные устройства, например Wi-Fi, LTE, и другой канал (частота радиопередачи, передаваемая в Wi-Fi, LTE).

Эта онтология описывает основные отношения устройств, интерфейсов и ссылок. Телекоммуникационные сети, от небольших сетей электросвязи, таких как сети между транспортными средствами, устройства умного дома, до крупных сетей, таких как спутниковые сети, можно описать с помощью онтологического моделирования.

¹ Хотя OpenFlow и SDN часто легко спутать, это две совершенно разные концепции. SDN - это парадигма, а OpenFlow - это протокол, определяемый видением SDN.

Архитектура SDN

Программно-конфигурируемые сети состоит из уровня инфраструктуры и уровня управления, которые обмениваются данными друг с другом через южный API. Над уровнем управления находится бизнес-приложение, которое осуществляет контроль над сетью с помощью северного API [5].

- интерфейсы API Southbound образуют интерфейс между контроллером SDN и сетевыми коммутаторами или маршрутизаторами. Они контролируют операции пересылки, уведомления о событиях, статистические отчеты, а также рекламируют возможности сети. Стандартным и наиболее распространенным южным API является OpenFlow;
- уровень управления включает контроллер SDN, который является централизованным устройством, отвечающим за преобразование сетевых требований от приложений SDN к сетевым коммутаторам. Он также предоставляет бизнес-приложениям, находящимся на уровне приложений, абстрактное представление сети. Это делается через Northbound API;
- уровень приложения состоит из программ, которые явно сообщают свои сетевые требования и ожидаемое сетевое поведение контроллеру через Northbound API;
- API-интерфейсы Northbound представляют собой абстракцию сетевых функций с программируемым интерфейсом для приложений, которые используют сетевые службы и динамически настраивают сеть. Они позволяют приложениям определять поведение сети.

Онтология контроллера Openflow (южный интерфейс)

Протокол OpenFlow, поддерживаемый ONF, является фундаментальным элементом для разработки решений SDN и может рассматриваться как обнадёживающее соображение относительно любой сетевой абстракции. OpenFlow, первый из ведущих авторизованных коммуникационных интерфейсов, связывающий уровни пересылки и управления в архитектуре SDN, позволяет управлять плоскостью пересылки сетевых устройств (например, коммутаторов и маршрутизаторов) как физически, так и виртуально. OpenFlow помогает архитектуре SDN адаптироваться к высокой пропускной способности и динамическому характеру пользовательских приложений, настраивать сеть в соответствии с различными бизнес-потребностями и, что интересно, упрощает управление и обслуживание.

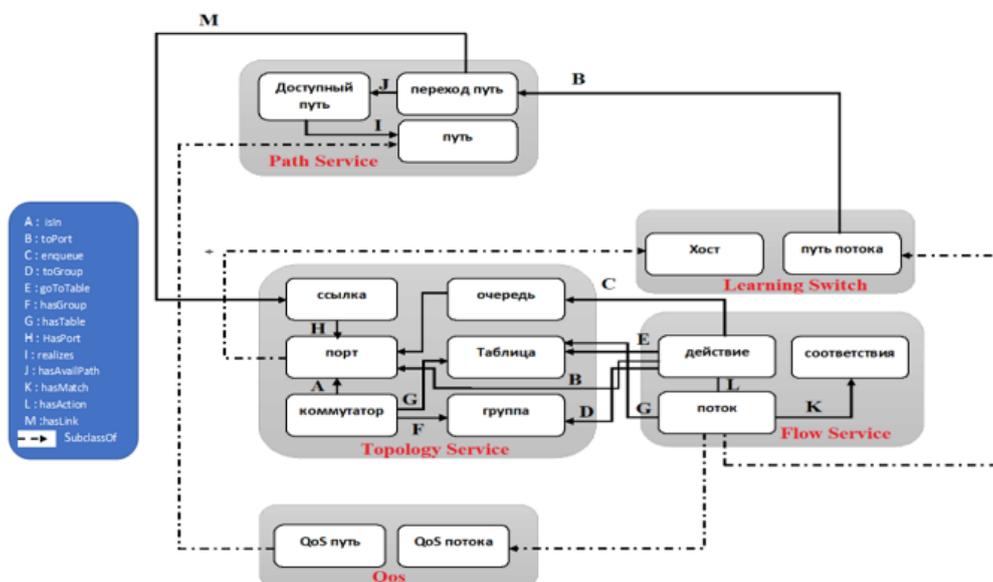


Рис. 2. Модель онтологии OpenFlow

На этом рис. 2 представлены концепции предлагаемой базовой онтологии. Группа топологии (Topology Service) содержит пять основных понятий: порт (Port), группа (Group), таблица (Table), очередь (Queue), коммутатор (Switch), концепция ссылка (Link) поддерживает информацию о нагрузке и емкости. Группа потоков (Flow Service) моделирует таблицы потоков коммутатор. Каждый поток подключается к одному объекту соответствия (Match), моделирующему соответствующий кортеж, и нескольким объектам действия (Action), имитирующим манипуляции с трафиком. В дополнение к элементарной поддержке OpenFlow онтология моделирует сетевое соединение для управляющих приложений. Концепция пути моделирует сквозное соединение портов. Объект Доступные пути (AvailPath) представляет альтернативные пути между исходным и целевым портами концепции Path. Доступные пути вычисляются с помощью внешней службы обработки графов и вставляются в базу данных при запросе нового пути. Приложение обучающего коммутатора (Learning Switch) поддерживает список MAC- и IP-адресов.

Онтология сетевого ресурса SDN на основе интерфейса Northbound

Северный интерфейс SDN – это функциональный интерфейс, предоставляемый контроллером для приложений верхнего уровня для реализации бизнес-логики. NBI-WG (Northbound Interface Working Group) организована ONF для облегчения разработки северного интерфейса. Тем не менее, консенсус по стандартизации северного интерфейса еще не достигнут различными сторонами. Северный интерфейс играет такую важную роль в программировании и построении сетевых приложений.

Богатые программные функции и открытая архитектура в среде SDN расширили понятие сетевых ресурсов (включая функции устройства, характеристики каналов, сетевое подключение, сетевые функции, QoS), особенно те внутренние функции устройства (таблицы потоков, действия, инструкции, и т. д.), которые могут быть вызваны приложениями верхнего уровня, разработчиками или сетевыми администраторами.

Основная причина существования Northbound API заключается в том, что внешние системы управления или сетевые приложения могут захотеть извлечь информацию, управляющую базовой сетью и частями ее поведения. Они также предоставляют универсальную модель данных абстракции сети и функциональные возможности контроллера для использования сетевыми приложениями. Они используются для содействия инновациям и эффективного управления сетью. Это необходимо для согласования сети с потребностями различных приложений, и они обеспечивают максимальную полезность архитектуры SDN.

Моделирование сетевых ресурсов SDN делится на 3 уровня: функциональный уровень, уровень подключения и уровень QoS. На рис. 3 показан пример сети SDN, описанной в RDF.

1. *Уровень подключения:* на этом уровне представлены основные элементы сети, видимые в топологии ПКС, и то, как они связаны, как показано в средней части рис. 3. Уровень подключения – это низкоуровневое моделирование, которое содержит объекты, напрямую сопоставленные с физическими устройствами и связями.

2. *Уровень QoS:* моделирование качества обслуживания для поддержки требований QoS приложений или пользователей верхнего уровня, как показано в нижней части рис. 3. Мы смоделировали свойства QoS, обычно встречающиеся в сетевой области, такие как пропускная способность, задержка, пропускная способность и т. д. Кроме того, специфичная для OpenFlow статистика, такая как счетчик, метр, и т.д., также собирается как свойства QoS через низкоуровневые API, предоставляемые контроллерами основного потока.

3. *Функциональный уровень:* В сети ПКС функциональные возможности относятся к поддерживаемым коммутатором действиям, инструкциям, рабочим процессам и т. д., как показано в верхней части рис 3. На этом уровне моделируются функциональные возможности отдельных коммутаторов, портов коммутации, таблиц потоков и т. д. (рис. 4).

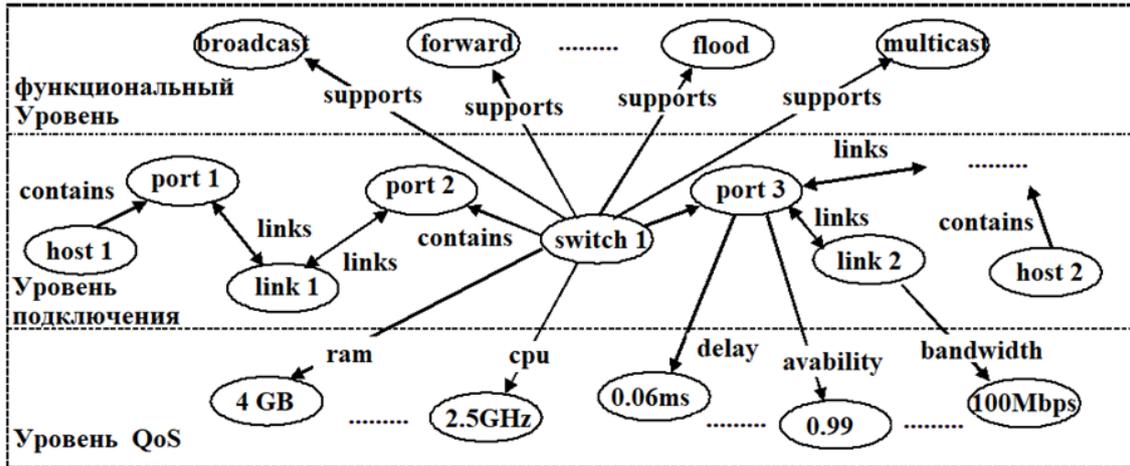


Рис. 3. ПКС RDF (пример)

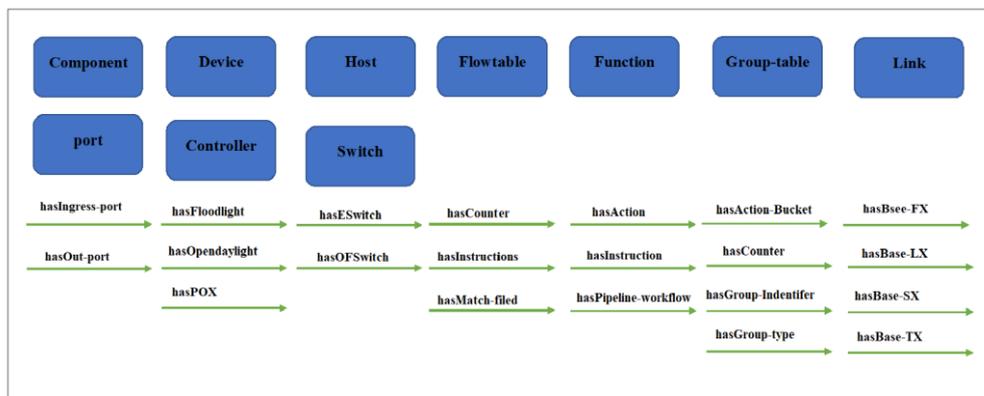


Рис. 4. Онтология для ПКС

Каждый из уровней имеет свои функциональные особенности и возможности, которые увеличивают потребность в использовании SDN в сетях 5G/IMT2020. С помощью этой онтологии мы можем моделировать каждый уровень SDN в тройках RDF, например, «hasfloodlight», «hasOpendaylight», «hasPOX» - это свойства подкласса «Contoller» и «Controller», относящиеся к классу Device. Таблица потоков (flow table) в коммутаторах OpenFlow играет важную роль в SDN на основе OpenFlow, в которой хранятся правила, установленные контроллерами для управления и направления потоков пакетов в SDN.

flow table, включающая эти элементы:

- 1) Match Field: комбинация различных заголовков пакетов;
- 2) Priority;
- 3) Counters: Статистика;
- 4) Instructions: изменение потока наборов действий или конвейера;
- 5) Timeouts: как долго эта запись может сохраняться в таблице потоков.

Group table Включая эти элементы:

1. ID группы.

2. Тип группы: Тип группы, то есть способ использования сегментов действий в этой группе.
3. Счетчики: Запишите, сколько пакетов обрабатывается этой группой.
4. Сегменты действий: список порядка сегментов действий.

Заключение

В ходе исследования SDN в системах связи следующего поколения (5G / IMT-2020) были описаны основные технологические решения, рассмотрены существующие онтологии и стандарты электросвязи в этой статье, а также описана архитектура SDN. Был предложен онтологический подход к моделированию сетей SDN, который включал в себя онтологию интерфейса Openflow (связывающий уровни пересылки и управления в архитектуре SDN) и онтологию сетевого ресурса SDN на основе интерфейса Northbound.

Онтологии, предлагаемые в этой статье, представляют собой лишь наброски. Мы продолжим совершенствовать онтологии, оценивая их в реальных приложениях. В конце концов мы будем оценивать эти онтологии с помощью программного обеспечения Protege.

Литература

1. Mckeown N., Anderson T., Balakrishnan H., Parulkar G., Peterson L., Rexford J., Shenker S., and Turner J. "Openflow: enabling innovation in campus networks," *Acm Sigcomm Computer Communication Review*, vol. 38, no. 2, pp. 69–74, 2008.
2. ONF, "Openflow switch specification ver 1.3.5," 2015. [Online]. Available: https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn_resources/onf-specifications/openflow/openflow-switch-v1.3.5.pdf.
3. Routray S.K. and Sharmila K.P. "Software defined networking for 5G," 2017 4th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), Coimbatore. 2017.
4. Dos Reis Fontes R., Campolo C., Rothenberg Ch. Esteve and Molinaro A. From theory to experimental evaluation: Resource management in software-defined vehicular networks. *IEEE Access* 5:3069–3076. 2017.
5. Vijay Tijare P., Vasudevan D., "The Northbound APIs of Software Defined Networks". <http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archive-2016/October-2016/61.pdf> (дата обр. 25.12.2020).



Деревцов Денис Игоревич
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №N42512с,
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная
безопасность,
e-mail: d.i.derevtsov@gmail.com



Кузнецов Александр Юрьевич
Университет ИТМО,
факультет безопасности
информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: alkuznetcov@itmo.ru

УДК 004.056.53

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МНОГОФАКТОРНОЙ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Д.И. Деревцов

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.Ю. Кузнецов

Аннотация

В работе рассмотрены наиболее распространенные подходы, используемые при разработке алгоритмов многофакторной биометрической аутентификации. Предложен подход для создания алгоритма на основе распознавания лица и радужной оболочки глаза с применением машинного обучения.

Ключевые слова

Биометрия, многофакторная аутентификация, лицевая биометрия, аутентификация по радужной оболочке глаза, машинное обучение.

В современном мире для получения доступа пользователей к информационным ресурсам повсеместно используется аутентификация, исходя из знания секрета или обладания каким-либо токеном доступа. Однако данные виды аутентификации подвержены недостаткам, таким как утрата, подделка или кража. Все это может поставить информационную систему или самого пользователя перед фактом нарушения конфиденциальности, доступности или целостности.

Для решения упомянутых выше проблем все больше начинают применять методы аутентификации, основанные на биометрических признаках человека. Такие признаки, как радужная оболочка глаза, лицо, отпечатки пальцев, геометрия руки, рисунок сетчатки и т.д., являются более надежными и эффективными, поскольку биометрические характеристики практически не могут быть украдены или забыты.

Однако распознавание, основанное на одной модальности, может быть недостаточно надежным или может быть неприемлемым для конкретной группы пользователей или в конкретной ситуации [1], в связи с чем возникает необходимость в

надежной аутентификации пользователей на основе нескольких взаимодополняющих биометрических признаков.

Существует большое количество методов распознавания по геометрии лица. Они основаны на том, что форма черепа и черты лица человека индивидуальны. В свою очередь, данная область делится на два направления: 2D распознавание и 3D распознавание. В данной работе будет рассматриваться 2D-распознавание лица, которое из-за относительно плохих статистических показателей обычно применяется в мультимодальных системах.

Радужная оболочка глаза является уникальной характеристикой человека и практически не изменяется в течение всей жизни, за исключением сильных травм или резких патологий. Однако использование данного признака требует применения дорогостоящего оборудования.

Машинное обучение за счет специфических особенностей и большого количества датасетов, находящихся в публичном доступе, способно свести к минимуму негативные стороны использования упомянутых выше признаков [2]. В связи с этим они образуют достаточно сильную пару, чье использование при построении алгоритма многомодальной биометрической аутентификации с высоким уровнем достоверности оправдано.

После извлечения векторов, содержащих соответствующие характеристики выбранных биометрических признаков, их необходимо объединить. Различные способы слияния рассмотрены в сравнительном исследовании [3]. На основании полученных авторами результатов для рассматриваемого в текущей работе алгоритма был выбран способ слияния на уровне признаков. Это обосновано тем, что когда биометрические модальности не являются независимыми, то их удачное объединение на уровне признаков позволяет в некоторых случаях использовать зависимости более полно, чем объединение на уровне результатов сравнения.

На рисунке в общем виде представлено, каким образом будет функционировать предлагаемый алгоритм многофакторной биометрической аутентификации.

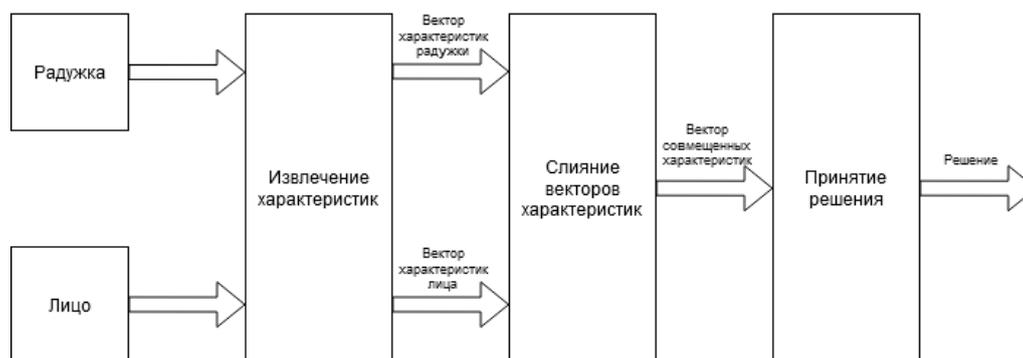


Рисунок. Упрощенное представление работы предлагаемого алгоритма

В работах [4, 5] рассматриваются метрики, используемые для оценивания качества работы алгоритмов биометрической аутентификации. Авторы показывают, что некоторые биометрические признаки особенно подвержены систематическим ошибкам, тогда как другие показывают более равномерное распределение ошибок. Их результаты также показывают, что включение некоторых отличительных особенностей снижает среднюю частоту ошибок, но значительно увеличивает распространенность систематических ошибок, и что слепая оптимизация среднего EER иногда может привести к снижению безопасности. Также они предлагают дополнительную метрику для точного определения различных распределений ошибок.

В таблице представлены выбранные метрики и краткое описание каждой из них.

Таблица

Описание метрик, используемых для оценивания предлагаемого алгоритма

Метрика	Описание
FAR (False Acceptance Rate)	Вероятность того, что один человек может быть принят за другого (ошибка 2 рода)
FRR (False Rejection Rate)	Вероятность того, что человек может быть не распознан системой (ошибка 1 рода)
EER (Equal Error Rate)	Уровень ошибок биометрической системы
Min DCF (Detection Cost Function)	Взвешенная сумма вероятностей ошибки 1 и 2 рода при заданном пороге t

В ходе работы были рассмотрены распространенные подходы, используемые при разработке алгоритмов многофакторной биометрической аутентификации. Предложен подход для создания алгоритма на основе распознавания лица и радужной оболочки глаза с применением машинного обучения, его упрощенная схема работы, а также были приведены метрики для оценивания качества его работы.

В дальнейшей работе планируется практическая реализация предложенного алгоритма и применение дополнительных метрик для повышения эффективности его работы.

Литература

1. Rui Z., Yan Z. A survey on biometric authentication: Toward secure and privacy-preserving identification //IEEE Access. 2018. Т. 7. С. 5994-6009.
2. Abate A.F. et al. Iris quality assessment: a statistical approach for biometric security applications //International symposium on cyberspace safety and security. Springer. Cham. 2018. С. 270-278.
3. Meva D.T., Kumbharana C.K. Comparative study of different fusion techniques in multimodal biometric authentication //International Journal of Computer Applications. 2013. Т. 66. №. 19. С. 16-19.
4. Chingovska I., Dos Anjos A.R., Marcel S. Biometrics evaluation under spoofing attacks //IEEE transactions on Information Forensics and Security. 2014. Т. 9. №. 12. С. 2264-2276.
5. Eberz S. et al. Evaluating behavioral biometrics for continuous authentication: Challenges and metrics //Proceedings of the 2017 ACM on Asia Conference on Computer and Communications Security. 2017. С. 386-399.



Домницкий Егор Алексеевич
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №N3250,
направление подготовки: 10.03.01 – Технологии защиты информации,
e-mail: egor.dom0923@gmail.com



Виксин Илья Игоревич
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: wixnin@mail.ru

УДК 004.942

АДАПТАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТА ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ СИМУЛЯЦИИ V-REP

Е.А. Домницкий

Научный руководитель – к.т.н., доцент И.И. Виксин

Аннотация

В настоящем докладе предложено использовать алгоритм A^* построения маршрута для БПЛА в пространстве, а также простейшие условия триггера на перестроение маршрута в случае встречи со случайными препятствиями на пути. Выбор алгоритма соответствует набору определенных в докладе требований. Решение смоделировано при помощи среды симуляции V-REP.

Ключевые слова

БПЛА, A^* , построение маршрута, дискретизация пространства, V-REP, моделирование, эвристические алгоритмы.

Введение

Задача навигации и ориентации в пространстве, достижения конечной цели передвижения, обхождения препятствий является одной из ключевых при разработке автономных робототехнических систем как наземных, так и летательных, действующих на местности.

На данный момент существуют различные подходы к решению данной проблемы, во многом они зависят от условий. Можно найти простейшие алгоритмы по типу BUG и CBUG, являющиеся по сути не алгоритмами построения маршрута, но алгоритмами избегания препятствий на пути к цели. Эти алгоритмы работают на плоскости и применяются в основном для наземных роботов. Чаще всего задача поиска оптимального маршрута решается при помощи представления пространства в качестве графа, в котором отмечается стартовый узел и узел цели, кратчайший путь до которой надо найти.

Очевидно, что пути в данном случае находят при помощи алгоритмов по графам: при помощи алгоритма волновой трассировки, или алгоритма Беллмана-Форда, Джонсона, Дейкстры и т.п.. Узлы, в которых находятся препятствия, помечаются как непроходимые, и рёбра до них удаляются из графа. Также существуют мета-эвристические мульти-агентные подходы, например алгоритм *Ant Colony Optimization Based On Population*. Данный алгоритм заключается в поиске оптимального маршрута путём многократного исследования пространства поиска в различных направлениях [1].

Однако конкретный случай – случай задачи для беспилотных летательных аппаратов – может накладывать ограничения и выдвигать определенные требования. В данной работе БПЛА будет рассматриваться как агент децентрализованной системы (роя или коллектива), который при этом должен обладать достаточной степенью независимости от коллектива или роя, чтобы иметь возможность функционировать автономно от других агентов в некоторых ситуациях.

Информация о маршруте и его перестроениях в таком случае должна быть представлена в элементарном виде для простоты передачи ее другим агентам или использования информации о маршруте в проверках на наличие скрытых деструктивных информационных воздействий. Самый простой и универсальный вариант – маршрут представляется как последовательность точек в пространстве. Также алгоритм поиска маршрута должен быть полным в том смысле, что он всегда должен находить решение, если таковое существует. Помимо этого, искомый путь должен быть оптимальным (кратчайшим), что является NP-сложной задачей.

В связи со всеми вышеперечисленными требованиями, наиболее подходящим видится применение эвристических алгоритмов. Автором данного доклада был выбран для реализации алгоритм A^* с эвристикой Манхеттена [2].

Дизайн эксперимента

Экспериментальная сцена симуляции сделана с использованием среды симуляции V-REP, объекты внутри сцены управляются посредством связанных с ними скриптов в Regular API среды на языке Lua [3]. Сцена использует встроенный в среду симуляции физический движок Bullet 2.78, шаг симуляции стандартный – 50 мс. В центре сцены расположена поверхность 15x15 м. «пол» (рис. 1) симуляции. Точка отсчета координат расположена в центре поверхности.

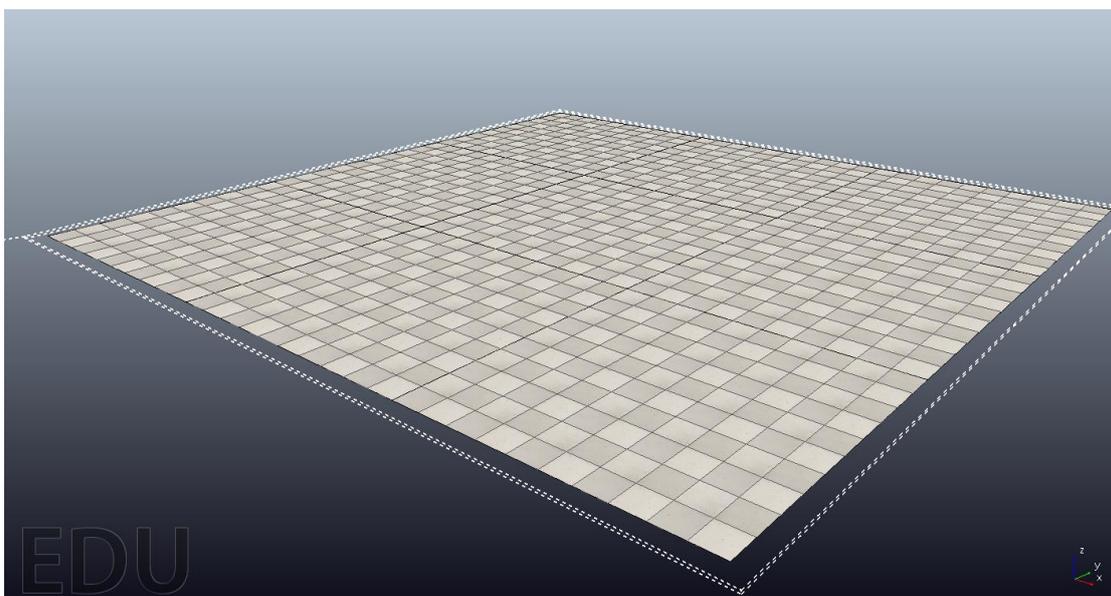


Рис. 1. Пространство симуляции

Для представления пространства сцены выбран метод Discretize Space (дискретное пространство) [1]. Таким образом, создается навигационная кубическая сетка ограниченных размеров: $160 \times 160 \times 84$ узла – от -80 до 80 по оси X, от -80 до 80 по оси Y, от -4 до 80 по оси Z. Расстояние между двумя смежными узлами сетки, находящимися на ребре «куба», равно 0.1 м в сцене симуляции. Иными словами, координатам (-34, 57, 20) в навигационной сетке соответствуют координаты (-3.4, 5.7, 2.0) в симуляции. Переход к целым числам обусловлен особенностями хранения навигационной сетки в виде таблиц и их индексации в Lua.

В качестве БПЛА используется предустановленная в V-REP модель квадрокоптера (рис. 2), приближительными размерами $0.35 \times 0.35 \times 0.02$ м. Управление ею осуществляется посредством перемещения в пространстве зелёной прозрачной сферы – таргета. Сам же корпус коптера перемещается путем перераспределения мощности между пропеллерами в зависимости от взаимного расположения относительно друг друга сферы и корпуса, следуя за сферой (по принципу инверсной кинематики).

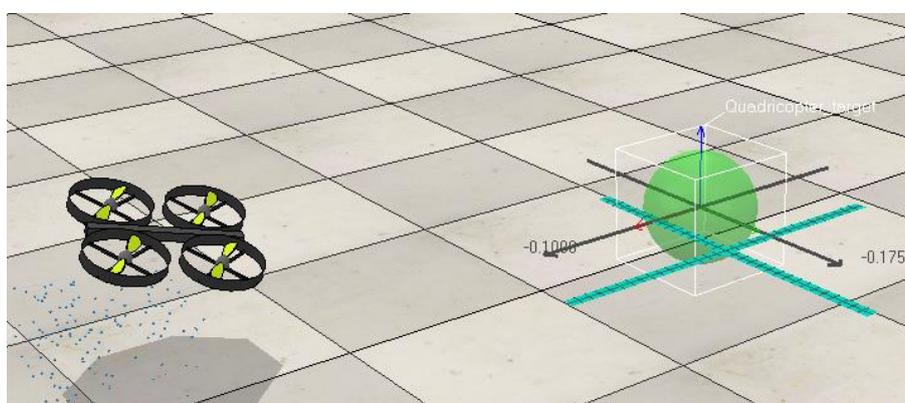


Рис. 2. Модель квадрокоптера, следующая за таргетом (целью)

Для обнаружения препятствий и их отметки на навигационной сетке используется настраиваемая предустановленная в симулятор модель лидара (рис. 3). Его корпус имеет вид цилиндра высотой 0.1 м., радиусом 0.05 м. Открывающийся угол сканирования по вертикали 60° , по горизонтали 360° , слепая зона 0.2 м., предельная дальность 4.5 м., оптических пучков по вертикали и горизонтали - 25×25 шт. Лидар размещен по центру корпуса модели квадрокоптера. При работе он создает массив координат зарегистрированных точек, узлы с этими координатами помечаются на навигационной сетке как препятствия.

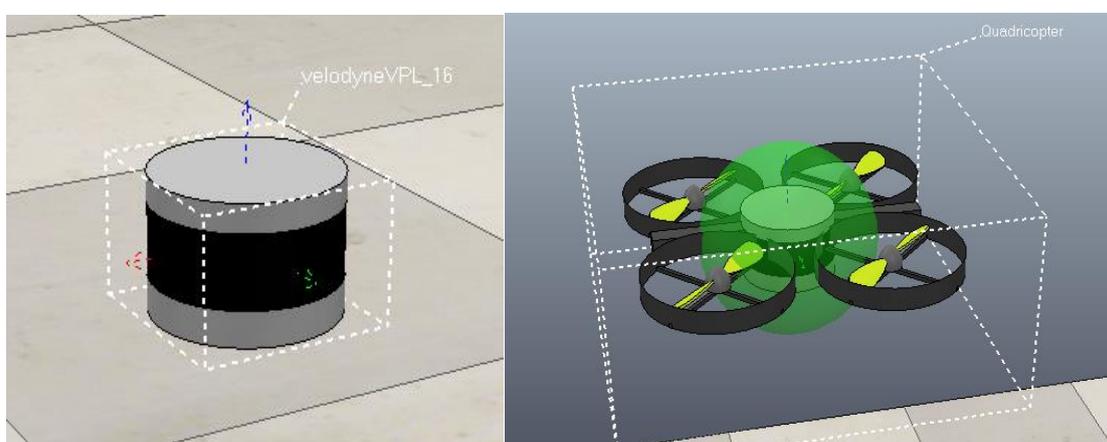


Рис. 3. Модель лидара

Следовательно, задача сводится к следующему виду:

- необходимо перемещать таргет квадрокоптера по узлам навигационной сетки к цели;
- из текущего узла таргет можно переместить на узел в 6 направлениях: вверх, вниз, влево, вправо, вперед, назад. Так же работает и вариант с 26 направлениями (добавляются все перемещения по диагоналям), однако это существенно снижает производительность симуляции;
- следующий узел считается проходимым для таргета, если в области $0.4 \times 0.4 \times 0.2$ м. вокруг него нет узлов, содержащих препятствия (выбранная область примерно соответствует габаритам модели коптера с лидаром);
- таким образом, необходимо при помощи алгоритма A^* с эвристикой Манхэттена построить маршрут из точки А в точку Б по навигационной сетке и провести по нему таргет коптера.

На сцене симуляции путем размещения стенок был сооружен тестовый полигон с препятствиями (рис. 4), которые не были заранее нанесены на навигационную сетку. Был предложен следующий триггер на перестроение маршрута из текущей точки: если в области следующей точки маршрута, или в области точки маршрута, отстоящей от текущей на 15 позиций в массиве маршрута обнаружено препятствие – перестроить маршрут. 15 позиций примерно соответствуют половине максимальной дальности зоны действия лидара - 1.5 м.

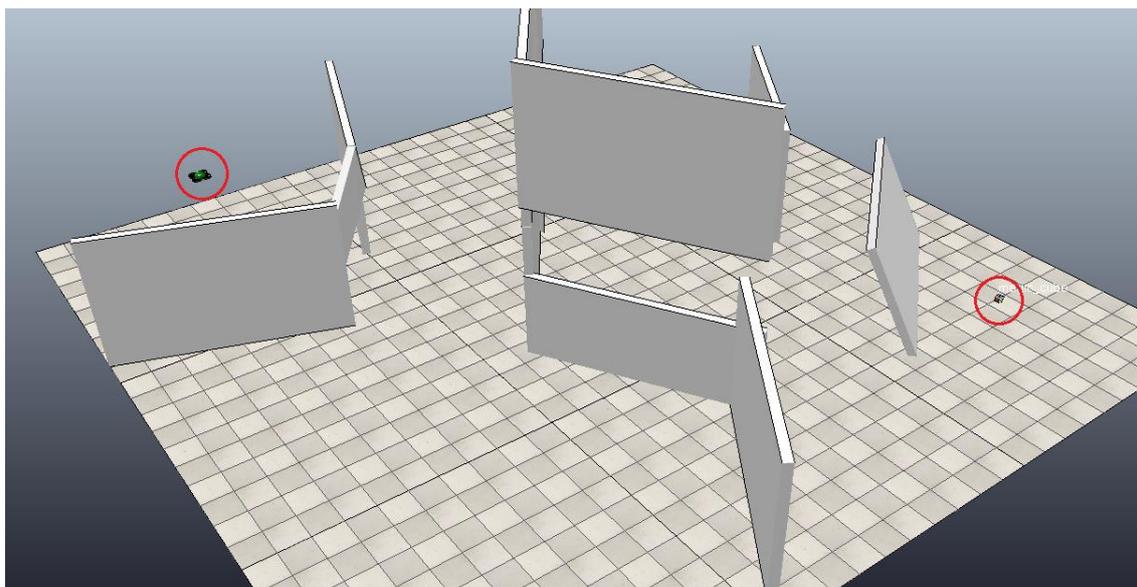


Рис. 4. Поле с препятствиями, коптер – слева, цель - справа

Результат

Квадрокоптер успешно долетел до точки назначения на тестовом полигоне, пролёт записан на видео.

По производительности симуляции можно сделать следующие замечания:

- на видео это не регистрируется, но в зависимости от ситуации скрипту может потребоваться от 40 секунд до 20 минут, чтобы проложить оптимальный маршрут в обход препятствий (в это время симуляция замораживается);
- связана эта задержка с тем, что сама среда симуляции и её Regular API использует не полный ресурс процессора и оперативной памяти (на компьютере автора: 25% ОЗУ и всего 40% CPU, GPU почти не используется) – на данный момент не найдено способа снять эти ограничения;

- у симулятора также есть возможность взаимодействия среды с Remote API (сторонний код на произвольном языке работает как сервер и обменивается информацией со средой симуляции, управляя ею) – необходимо повторить эксперимент с использованием данной технологии (на код не будут действовать ограничения ресурсов);

- необходимо переработать триггер перестроения маршрута – существующая в данный момент реализация не проверяет маршрут целиком каждый шаг симуляции, чем не нагружает систему, но также и не обеспечивает заведомой правильности в выборе ситуаций, в которых необходимо перестраивать маршрут;

Выводы

Алгоритм показал свою пригодность в условиях поставленной задачи – успешно строит маршрут в пространстве в обход препятствий, возвращает информацию о маршруте в пригодном для дальнейшего использования в других вычислениях виде. Требуется переработка триггера перестроения маршрута. В готовом виде, в сочетании с корректным триггером алгоритм может справиться с поставленной задачей, и БПЛА предположительно сможет самостоятельно проложить маршрут на местности в случае недоступности связи с другими агентами роя или коллектива, хотя это займет куда большее время, нежели при наличии готовой карты местности с постоянно поступающей от других агентов информацией о препятствиях. В будущем необходимо провести тест модели с применением технологии Remote API V-REP на языке Python, а впоследствии – на реальной физической модели квадрокоптера, оборудованного лидаром.

Литература

1. Навигация сервисного робота на поле для гольфа. Построение пути и обход препятствий [Электронный Ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/426693/> (дата обр. 23.11.2020).
2. Алгоритм A* для новичков. Патрик Лестер [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2013/fknt/buga/library/AStar.htm>. (дата обр. 23.11.2020).
3. Coppelia Robotics [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.coppeliarobotics.com/> (дата обр. 23.11.2020).



Жарух Абдулраззак
Университет ИТМО,
факультет систем управления
и робототехники,
студент группы 7761,
направление подготовки: 05.02.05 – Роботы, мехатроника и
робототехнические системы,
e-mail: azharukh@itmo.ru



Колюбин Сергей Алексеевич
Университет ИТМО,
факультет систем управления
и робототехники,
д.т.н., профессор,
e-mail: s.kolyubin@itmo.ru

УДК 681.5.015

BENCHMARKING REAL-TIME MOTION PLANNERS FOR KUKA IIWA REDUNDANT MANIPULATOR

A. Jaroukh
Scientific supervisor – DSc, S.A. Kolyubin

The work was performed within the framework of the research project №620164 «Robotics and Artificial Intelligence».

Annotation

This article aims to provide an overview of the single-query motion planners that are used in the Open Motion Planning Library OMPL. Then to provide a performance study of the existing motion algorithms via MoveIt platform using redundant manipulator IIWA. The study is done in three different environments: Free-space, Low-cluttered environment, and High-cluttered environment. The results of the performance study are shown and discussed in a table from.

Keywords

Motion planning, redundant manipulator, IIWA, single-query, OMPL, cluttered environment, performance study.

Motion/path planning problem is the process of finding the trajectory of the robot from an initial configuration/position to goal region while avoiding obstacles along the way. This process is essential for robotics applications, whether in static environments (e.g. assembling), or specially in dynamic environments as in the case of collaborative tasks where the redundant manipulators are having big role because of their abilities to avoid dynamic obstacles which are represented by other moving manipulators or a human-bodies. In motion planning problem, redundant manipulators one hand have more degrees of freedom which help in avoiding more obstacles, while on the other hand more degrees of freedom results in higher dimensional configuration space, thus, the planning process in cluttered environment become exponentially slower and more challenging.

The Open Motion Planning Library OMPL [1] provides the facility to test the leading sampling-based motion algorithms. OMPL planners (algorithms) are divided into multi-query

planners [2], which are suitable for problems with multiple start states and multiple goal states, where the algorithms tend to allocate more effort on exploring the environment which makes the sampled states useful to be reused for another motion planning problem in the same configuration space; and single query planners [2], which are suitable for problems with single start state and single goal state, where the effort is directed to improve the convergence towards sub-optimal solution in less planning time.

A common single query motion planner is the Rapidly-exploring Random Tree RRT [2]. Where the samples are being generated from start state towards the unexplored areas in the free configuration space. The samples are connected which each other's in the form of tree branches. The algorithm stops generating new samples when one of the branches reaches the goal state. RRTConnect [2] algorithm is the bidirectional version of RRT, where two trees are created, one from start state and the other from goal state, and the algorithms stops when the two trees connect. RRTstar [2] algorithm checks for the best parent in the tree for the new nodes so the found solution will be optimized upon the existing states. TRRT [3] planner is the classic RRT with a stochastic optimization method for global minima. BiTRRT [4] is the bidirectional version of TRRT. Expansive Space Trees EST [5] tries to check for density of the samples in the configuration space and generates new samples in the less explored areas. The bidirectional version of EST is the BiEST [5], and ProjEST [5] detects the less explored areas by using a grid. SBL [6] planner works in same manner of EST with lazy collision checking. KPICE [7] is a tree-based planner that estimates the coverage of the state space by using layers of discretization. BKPIECE is the bidirectional version, and LBKPIECE is the same planner with lazy collision checking. Path-Directed Subdivision Tree PDST [8] represents samples as path segments instead of configuration states. Finally, the Search Tree with Resolution Independent Density Estimation STRIDE [9] uses a Geometric Near-neighbor Access Tree (GNAT) to estimate the density of the configuration space. This would help to guide the tree into the less explored area.

Performance study of the aforementioned planners are done via MoveIt platform using redundant manipulator IWA in three different environments: free-space (fig 1a), low-cluttered (fig 1b), and high-cluttered (fig 1c). Start and goal position are represented by the white and blue ball respectively.

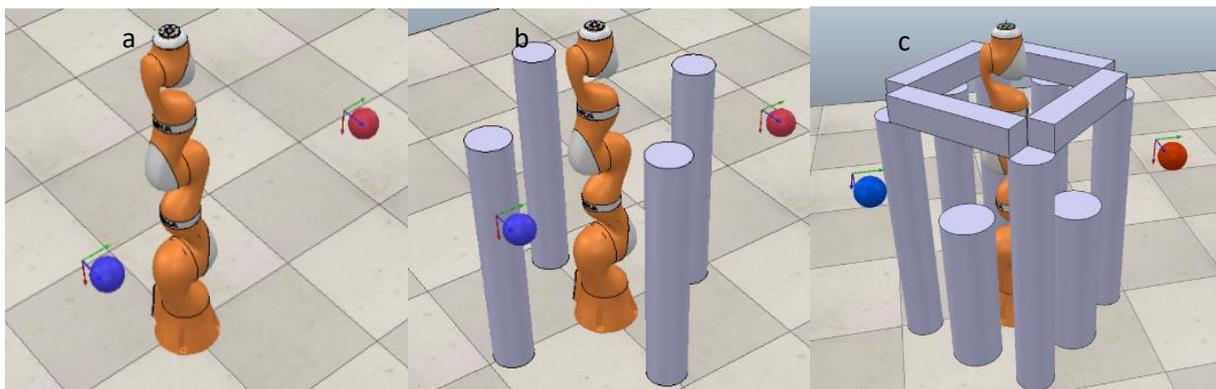


Fig. 1. Benchmarking Environments: a) Free-space, b) Low-cluttered, c) High-cluttered

Benchmarking results are shown in tabl. 1, where the presented values (planning-time, path-length) are the average of one hundred runs. It is important to put to notice that the maximum allowable planning time in this benchmarking was set to 10 seconds.

Table 1

Performance study results of single-query motion planners

Planner name	Free Space		Low Cluttered Environment		High Cluttered Environment	
	Planning Time (s)	Successful Runs	Planning Time (s)	Successful Runs	Planning Time (s)	Successful Runs
SBL	0.0565393	100	0.211608	100	4.66069	80
EST	0.0446837	100	0.100858	100	3.221	8
LBKPIECE	0.0923019	100	0.343995	100	3.2725	88
BKPIECE	0.104758	100	0.164241	100	2.60046	88
KPIECE	0.0469097	100	0.111598	100	6.59819	24
RRT	0.0447376	100	0.177328	99	2.6423	16
RRTConnect	0.0366414	100	0.0586468	100	1.14722	100
TRRT	0.040095	100	0.427765	88	NA	0
PDST	0.0416994	100	0.1028	100	NA	0
STRIDE	0.0430002	100	0.139476	100	NA	0
BiTRRT	0.0544286	100	0.0657447	100	2.27131	92
BiEST	0.0515431	100	0.0632668	100	2.01367	96
ProjEST	0.045506	100	0.095665	100	5.07378	32

The results show that all planners act in an online-manner in the free-space, as well as perform in good times in the low-cluttered environment. While in the high-cluttered space, some planners provided acceptable performance and others performed very bad, except for Bidirectional Translational RRT that succeeded in all runs with an average time of 1.14 seconds.

References

1. Şucan I.A., Moll M., Kavraki L.E. The Open Motion Planning Library, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 19(4):72–82, December 2012.
2. LaValle S.M., 2006. *Planning algorithms*. Cambridge university press.
3. Jaillet L., Corts J. and Simon T., “Sampling-based path planning on configuration-space costmaps,” *IEEE Transactions on Robotics*, pp. 635–646, 2010.
4. Devaurs D., Simeon T., and Cortes J., “Enhancing the transition-based rrt to deal with complex cost spaces,” in *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA 13*. Karlsruhe. Germany. 2013. pp. 4105–4110.
5. Hsu D., Latombe J.C., and Motwani R. “Path planning in expansive configuration spaces,” in *Proceedings of Int. Conf. on Robotics and Automation*. Vol. 3. 1997. pp. 2719–2726 vol. 3.
6. Sanchez G. and Latombe J.-C. “A Single-Query Bi-Directional Probabilistic Roadmap Planner with Lazy Collision Checking,” in *Robotics Research*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2003, pp. 403–417.
7. Sucan I.A. and Kavraki L.E., “Kinodynamic motion planning by interior-exterior cell exploration,” in *In Workshop on the Algorithmic Foundation of Robotics*. 2008.
8. Ladd A.M., Unversity R., Kavraki L.E., and Unversity R., “Motion planning in the presence of drift, underactuation and discrete system changes,” in *In Robotics: Science and Systems I*. MIT Press, 2005, pp. 233–241.
9. Gipson B., Moll M., and Kavraki L.E., “Resolution Independent Density Estimation for motion planning in high-dimensional spaces,” in *2013 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*. IEEE. may 2013. pp. 2437–2443.



Жданова Мария Вячеславовна

Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №N41002,
направление подготовки: 23.04.03 – Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов,
e-mail: m0992521@gmail.com



Донецкая Юлия Валерьевна

Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: donetskaya_julia@mail.com

УДК 004.05

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА
В ТРАНСПОРТЕ И НЕФТЕДОБЫЧЕ**

М.В. Жданова

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.В. Донецкая

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

Это обзорная статья по работе беспилотных летательных аппаратов в нефтедобывающей отрасли. На нефтегазодобывающих объектах применение БПЛА является перспективным в силу труднодоступности самих объектов, сложности операций или экономической невыгодности использования людей. Также одним из ключевых достоинств применения беспилотников является увеличение точности измерений, исключение человеческого фактора (практически полностью при использовании автоматизированных систем), снижение затрат на персонал и возможность более полного сбора данных.

Ключевые слова

БПЛА, логистика, нефтегазодобыча, перспективы применения, ограничения использования.

Нефтегазовая промышленность является одним из четырех секторов с наибольшим потенциалом для интеграции частично или полностью автономных транспортных средств после строительства, сельского хозяйства и страхования [1]. Причин, почему использование беспилотников в целом так многообещающе в нефтегазовой промышленности, несколько. Это и геологическая разведка местности, и использование в производстве замкнутых пространств, таких как резервуары для хранения сырья или

шахты, инфраструктура в удаленных районах, трубопроводы и морские платформы, опасные химические процессы и их воздействие. Там, где присутствие человека опасно или экономически не обоснованно уже сейчас начинают применять беспилотные транспортные средства.

Возможности применения

Как правило, одни из самых распространенных вариантов использования БПЛА на объектах нефтегазодобычи – решение задач мониторинга внутренней или внешней безопасности, а также экологической обстановки. Здесь беспилотники с соответствующим программным обеспечением могут заменить целый ряд дорогостоящих решений, при этом снизить затраты и время, повысив общую безопасность объектов [2].

Такое применение на объекте требует определенной подготовительной работы. В качестве ключевых пунктов подготовки можно выделить [3]:

- определение условий среды (климатических условий, ограничений подконтрольной площадки);
- определение маршрута мониторинга (определение объектов видеонаблюдения, исключение слепых зон);
- подбор бортовой целевой нагрузки;
- настройка топологии сети (совместное использование нескольких БПЛА);
- определение области хранения;
- анализ рынка (выбор типа беспилотника, камер и датчиков).

После подготовительного этапа проводится анализ целесообразности введения в работу такого оборудования, экономические подсчеты.

В этапе подбора полезной нагрузки для проведения работ по мониторингу БПЛА могут оснащаться следующими средствами наблюдения [4]:

- видеокameraми оптического диапазона;
- видеокameraми инфракрасного (ИК) диапазона (тепловизорами);
- совмещенными видеокameraми (оптического и ИК диапазонов);
- фотоаппаратами оптического диапазона;
- ретрансляторами телефонной и радиосвязи;
- радиолокационными средствами.

В зависимости от типа выбранного дрона камеры могут устанавливаться в его носовой части, на (в) крыле или под фюзеляжем. При этом объективы для фото и видеокameraм могут быть статичными или с одной-двумя степенями свободы, а также переменное фокусное расстояние (трансфокатор).

При этом ошибки оптической системы могут исправляться калибровкой фотокамеры [5-6] на специальных полигонах или в лабораторных условиях с использованием сетки, размеченной на плоской вертикальной поверхности.

Для мониторинга местности наиболее предпочтительными являются видеокameraм турельного типа, устанавливаемые на гиостабилизированных платформах под фюзеляжем БПЛА и обеспечивающие обзор на 360° для установленной на них камер. Пример такого крепления можно увидеть на рисунке.

Для съемки отдельных участков местности наиболее предпочтительными являются фотоаппараты, устанавливаемые неподвижно в крыле или под фюзеляжем БПЛА.

Чтобы избежать потери дрона в случае нештатных ситуаций, рекомендуется подключать к ним поисковые маяки. При этом время автономной работы маяков должно быть не менее 6 часов.

Дополнительно к таким мониторинговым комплексам можно подключать отдельные модули для выполнения каких-либо операций на объектах, например для проведения лабораторных исследований, базовых операций на объектах и погрузки или

разгрузки различных материалов. Для этого при подготовке производится анализ задач, определение требуемого функционала и оборудования, настройка устройства захвата и его функций свободы.



Рисунок. Дрон с креплением для камеры

Примером лабораторного применения БПЛА является использование таких устройств в геологоразведке, когда на удаленных участках производится изучение процессов и среды развития различных отложений (или, по инженерно-геологической терминологии, грунтов) без бурения скважин [7].

Естественно, что с помощью беспилотных летательных аппаратов получить карту местности с указанием границ выхода геологических образований пока невозможно, на начальном этапе исследований необходим сбор информации такого характера с геолого-генетическим комплексом, тем более по тем участкам, где БПЛА будет действовать. На втором этапе в полевых условиях проводится «наземное» обследование участка, которое включает документацию отложений в пределах обнажения и их опробование уже с использованием дронов.

В результате получаем данные по особенностям микроструктуры, состава и некоторых свойств четвертичных отложений в поверхностной зоне, где как раз и развиты ЭГП с использованием беспилотных транспортных средств.

Применение же дронов в логистике открывает множество возможностей для удаленных месторождений и жилых комплексов. Во многом это удешевляет производство в целом, а также упрощает строительство объектов и оказание помощи в критических ситуациях.

Одним из примеров эффективного использования дронов является способ, предложенный компанией Amazon в своем патенте [8]. Основная идея – использовать для перевозки грузов децентрализованную систему беспилотников. Она состоит из нескольких дронов, связанных друг с другом тросами.

Классические БПЛА для перевозки грузов являются цельной конструкцией с четырьмя или шестью винтами. Груз на них подвешивается снизу с помощью троса или закрепляется на фюзеляже. В патентной заявке, поданной Amazon, описывается схема, где несколько беспилотников с одним винтом скрепляются тросами друг с другом и с грузом, образуя цельную конструкцию. Дроны могут выполнять различные функции — например, они могут работать все вместе или помогать одному беспилотнику, который выполняет роль тягача.

Хотя перспектив развития этой области применения БПЛА много, но ее тормозит низкая грузоподъемность существующих устройств, а также небольшая дальность полетов, в сравнении с вертолетами или небольшими самолетами.

В данной работе были рассмотрены существующие проекты и концепты летательных аппаратов в нефтегазовом производстве. Ключевыми направлениями, по которому идет развитие в данной отрасли на сегодняшний день, являются:

- мониторинг объектов производства, нефтегазовых сетей, а также экологической обстановки вокруг них;
- использование при лабораторных исследованиях;
- использование как роботизированного комплекса погрузки и отгрузки или для доставки грузов.

Литература

1. Smolyanskiy N., Kamenev A., Smith J., Birchfield S. Toward Low-Flying Autonomous MAV Trail Navigation using Deep Neural Networks for Environmental Awareness [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1705.02550v3.pdf> (дата обр. 15.12.2020).
2. Использование дронов в нефтегазовой промышленности // DJI blog [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dji-blog.ru/naznachenie/neftegaz/ispolzovanie-dronov-v-neftegazovoj-promyshlennosti.html>. (дата обр. 15.12.2020).
3. Беспилотником по бездорожью [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2020-june/4724799/> (дата обр. 15.12.2020).
4. Методика применения БПЛА для проведения лесопатологического обследования // ФБУ "Лесоохрана" URL: https://aviales.ru/files/documents/2011/08/bla_lpot_2010.pdf (дата обр. 20.01.2021).
5. Алтынов А.Е., Малинников В.А., Попов С.М., Стеценко А.Ф. Спектро-метрирование ландшафтов. // Учебное пособие для студентов М.: Изд. МИИ-ГАиК. УПП «Репрография». 2010. с. 67.
6. Емельянова Н. Беспилотником по бездорожью // "Сибирская нефть". 2020. №172.
7. Рященко Т.Г., Ухова Н.Н., Штельмах С.И., Макаров С.А. Результаты изучения четвертичных отложений с применением беспилотных летательных аппаратов (красноцветы в долине реки Иды, д. вершина, боханский район) // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях. Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 2018.
8. Jonsson P., Casselgren J., Thornberg B. Road Surface Status Classification Using Spectral Analysis of NIR Camera Images[J]. IEEE Sensors Journal. 2015. 15 (3): 1641-1656.



Завитаев Александр Сергеевич
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R41301с,
направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления
движением и навигация,
e-mail: zav.al98@mail.ru

УДК 681.78

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО ГИРОСКОПА

А.С. Завитаев

Научный руководитель – д.т.н. М.И. Евстифеев

Аннотация

В работе рассматривается ядерно-магнитный гироскоп. Проверено влияние внешних воздействий на точность прибора. По результатам моделирования сделаны выводы о работоспособности прибора при заданных воздействиях.

Ключевые слова

Ядерно-магнитный гироскоп, Сгео, метод конечных элементов, анализ на собственные частоты, резонансная частота.

С развитием передовых технологий, обеспечивающих компонентную базу для создания гироскопических устройств, основанных на применении квантовых эффектов, возродился интерес к разработке приборов квантовой электроники для решения задач навигации [1–3]. Целью разработки ядерно-магнитного гироскопа (ЯМГ) является создание гироскопа, близкого по точностным характеристикам к гироскопам на эффекте Саньяка и превосходящего их по массогабаритным и эксплуатационным характеристикам [4–6].

Ядерно-магнитный гироскоп (рис. 1) – квантовый гироскоп, чувствительным элементом которого является ансамбль ориентированных атомных ядер, обладающий макроскопическим магнитным моментом. Принцип действия гироскопа заключается в том, что частота прецессии магнитного момента ядер зависит от угловой скорости вращения прибора. При этом важно, чтобы ядра находились в постоянном магнитном поле [7, 8].



Рис. 1. Ядерно-магнитный гироскоп

Согласно техническим требованиям, в ходе работы прибора возможны удары с пиковым значением ускорения до 60g, а также колебания с амплитудой виброускорения до 20g. В связи с этим поставлена следующая цель: провести математическое компьютерное моделирование ЯМГ при наличии вибрации и ударов.

Основным параметром, влияющим на точность работы гироскопа, является степень ориентируемости ядер активного вещества в капсуле [9]. Большое значение данного параметра достигается за счет однородности магнитного поля и точности лазера накачки. Следуя из этого, в работе рассмотрены следующие составляющие конструкции:

- корпус прибора (рис. 2);
- блок с электроникой (рис. 3);
- катушка внутри камеры (рис. 4).

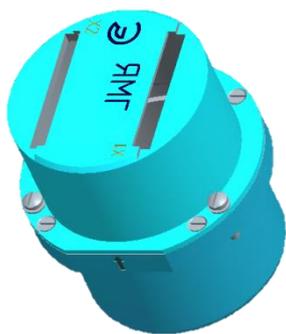


Рис. 2. Корпус прибора

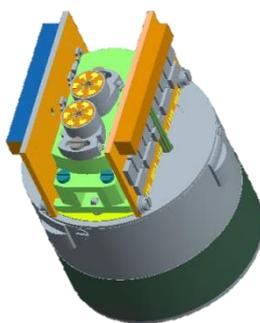


Рис. 3. Блок с электроникой

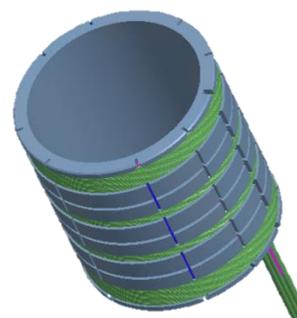


Рис. 4. Катушка внутри камеры

В результате моделирования воздействий на корпус прибора получены следующие результаты:

- при ударном воздействии деформация составила менее 0.001 миллиметра, напряжение при этом составило 9 Мпа;
- при воздействии гармоническими колебаниями значительных деформаций и напряжений в корпусе не выявлено.

В результате воздействий на блок с электроникой гармоническими колебаниями выявлены резонансы конструкции на частотах 525, 850 и 1627 Гц. При резонансе отклонение лазера оптической ориентации может составлять до 0,3 мм относительно кварцевой ячейки. Из-за этого падает степень ориентации ядер, что, в свою очередь, приводит к снижению точности прибора.

При моделировании катушек обнаружена резонансная частота в 1457Гц. При воздействии гармоническими колебаниями на данной частоте происходит деформации круглых катушек вплоть до 0,17 мм. Деформация данных катушек приведет к изменению постоянности магнитного поля, что, в свою очередь, отразится на точности измерений, выдаваемых гироскопом.

В ходе работы:

- построена конечно-элементная модель ЯМГ;
- проведено моделирование воздействий по требуемым параметрам.

В результате можно сделать следующий вывод:

- в результате воздействия гармоническими колебаниями нестабильность смещения нуля превышает допустимое значение в 0.01 %/ч.;
- из-за резонансов в конструкции возможно искажение выходных данных в следствии деформации катушек и смещении луча лазера оптической ориентации.

Литература

1. Пешехонов В.Г. Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем // Гироскопия и навигация. 2011. № 1. С. 3–16.
2. Fang J.C., Qin J. Advances in atomic gyroscopes: a view from inertial navigation applications // Sensors. 2012. V. 12. N 5. P. 6331–6346. doi: 10.3390/s120506331.
3. Feng D. Review of quantum navigation // IOP Conf. Series:Earth and Environmental Science. 2019. V. 237. P. 032027. doi:10.1088/1755-1315/237/3/032027.
4. Simpson J.H., Fraser J.T., Greenwood I.A. An optically pumped nuclear magnetic resonance gyroscope // IEEE Transactions on Aerospace. 1963. V. 1. N 2. P. 1107–1110. doi: 10.1109/ta.1963.4319483.
5. Larsen M., Bulatowicz M. Nuclear magnetic resonance gyroscope: for DARPA's micro-technology for positioning, navigation and timing program // Proc. IEEE Int. Frequency Control Symposium, 2012. doi: 10.1109/fcs.2012.6243606.
6. Вершовский А.К., Литманович Ю.А., Пазгалёв А.С., Пешехонов В.Г. Гироскоп на ядерном магнитном резонансе: предельные характеристики // Гироскопия и навигация. 2018. Т. 26. № 1. С. 55–80. doi: 10.17285/0869-7035.2018.26.1.055-080.
7. Шевченко А.Н., Захарова Е.А. Исследование зависимости качества резонанса от распределения цезия в ячейке квантового датчика вращения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 4. С. 567–573. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-567-573.
8. Литманович Ю.А., Вершовский А.К., Пешехонов В.Г. Гироскоп на основе явления ядерного магнитного резонанса: прошлое, настоящее, будущее // Материалы пленарного заседания 7-й Российской мультikonференции по проблемам управления ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». 2014. С. 35–42.
9. Александров Е.Б., Константинов О.В., Перель В.И. Оптическая ориентация атомов в магнитном поле, перпендикулярном лучу. ЖЭТФ. 1965. Т. 49. № I (7). с. 97-106.



Завьялов Владимир Станиславович

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

аспирант группы № 7761,

направление подготовки: 05.11.14 – Приборостроение,

e-mail: vovanzspb@gmail.com

УДК 658.563

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В.С. Завьялов

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.С. Андреев

Аннотация

В работе рассмотрены методы обеспечения точности обработки на станках с числовым программным управлением. Представлена классификация методов обеспечения точности обработки в соответствии с этапами технологической подготовки производства, для которых они применимы. Приведены примеры оборудования, применяемого для данной задачи, а также проведен анализ публикаций, посвященных вопросам обеспечения точности обработки.

Ключевые слова

Числовое программное управление, точность обработки, контроль качества, наладка станка, износ инструмента, ISO-230.

Введение

Современные методы управления производством направлены на предотвращение изготовления бракованной продукции. Европейская программа «ZDMP» [1] нацелена на построение производственной среды, позволяющей гарантировать нулевое количество дефектной продукции. Данная инициатива тесно связана с проектами «QU4LITY» [2], «EFPF» [3] и «eFactory». Решение данной задачи в рамках предприятия требует интеграции элементов производственной системы в информационную систему предприятия, построение моделей прогнозирования качества, мониторинга состояния оборудования и предотвращения выпуска несоответствующей продукции.

В данной работе рассматриваются методы обеспечения точности обработки и применяемые для них средства контроля. Обеспечение высокого уровня качества для ЧПУ станков базируется на четырех уровнях контроля:

- профилактический контроль;
- наладочный контроль;
- активный контроль в процессе производства;
- информационный контроль готовой продукции.

Профилактический контроль

Профилактический контроль включает в себя своевременное техническое обслуживание станков и оценку технологической точности оборудования.

Оценка технологической точности ЧПУ оборудования описана в стандартах ISO 230, ISO 10791, VDI/DGQ 3441 и ASME B5(TC52). Практическое применение положений данных стандартов рассмотрено в ряде публикаций как зарубежных авторов [4-7], так и отечественных авторов [8-9].

Производители измерительного оборудования предлагают различные измерительные системы для реализации тестов геометрической точности станков согласно стандартам. Основные категории данных систем:

- лазерные интерферометры;
- электронные уровни;
- лазерные трекары;
- калибровочные системы Vallbar.

Лазерные интерферометры обеспечивают измерение с высокой точностью параметров прямолинейности, плоскостности, перпендикулярности и параллельности осей станка. На рис. 1 представлена система XL-80 производства Renishaw. Данная система состоит из лазерного блока, обеспечивающего точность измерения 0,5 мкм/м, блока коррекции условий окружающей среды и оптических элементов, подбираемых исходя из поставленной задачи.



Рис. 1. Лазерная система XL-80 Renishaw

Электронные уровни производят измерение малых отклонений угла с высокой точностью (0,2 угл. сек), после чего программное обеспечение позволяет построить карту отклонений поверхности от прямолинейности, плоскости, параллельности и перпендикулярности. Как правило, для работы используется пара уровней. Один установлен неподвижно и служит в качестве референтного, второй перемещается по контролируемой поверхности. На рис. 2 представлен уровень электронный М-050 производства ИМЦ МИКРО.



Рис. 2. Уровень электронный М-050

Компания WYLER AG для оценки точности станков использует электронные уровни BlueSYSTEM SIGMA с программным обеспечением WylerSPEC. С помощью этого инструмента можно производить оценку таких параметров, как:

- прямолинейность (линеек, направляющих);
- плоскостность (плит и рабочих столов);
- перпендикулярность (направляющих, осей станков);
- скрученность (линеек, направляющих);
- угол наклона (станков, ким, измерительных комплексов, антенн и т. д.);
- прямолинейность перемещения (крен и дифферент);
- параллельности плоскостей (рис. 3).



Рис. 3. Электронный уровень BlueSYSTEM SIGMA

Для проведения испытаний на отклонение от круговой траектории по ISO 230-4 может использоваться система Ballbar QC-20W (рис. 4). Данная система состоит из двух высокоточных сфер, соединенных измерительным датчиком с точностью измерения $\pm 0,5$ мкм. Процедура проверки состоит из двух перемещений шпинделя станка вокруг центральной точки по часовой стрелке и против часовой стрелки. В ходе перемещения датчик производит измерение изменения радиуса вращения, и производится расчет точности позиционирования станка.



Рис. 4. Ballbar QC-20W

Система Etalon Laser TRACER-NG (рис. 5) использует метод мультилатерации [10, 11]. Лазерный интерферометр на двухосевом поворотном основании устанавливается на столе станка, в шпиндель устанавливается отражатель. Программное обеспечение Trac-Sal отслеживает координаты отражателя во время перемещения, строит карту

погрешностей станка, рассчитывает параметры точности согласно стандартам и формирует таблицу коррекции.



Рис. 5. система Etalon Laser TRACER-NG

Таблица

Сравнение измерительных систем, используемых для контроля технологической точности станков

Характеристика	Лазерная система XL-80 Renishaw	Уровень электронный М-050	BlueSYSTEM SIGMA	Ballbar QC-20W	Etalon Laser TRACER-NG
Производитель	Renishaw plc	ИМЦ МИКРО	WYLER AG	Renishaw plc	Hexagon Manufacturing Intelligence
Страна производства	Великобритания	Россия	Швейцария	Великобритания	Швейцария
Точность измерения	$\pm(0,5 + 0,006 \cdot H + 0,1 \cdot M)$, где H – измеряемое перемещение, мм/м; M – расстояние до измеряемого объекта, м	$\pm(2+0,01 \cdot a)$ где a – измеренное значение, мкм/м	$\pm(0,01 a +0,005)$ мм/м где a – измеренное значение, мм/м	$\pm(0,7+0,3 \times 10^{-2} \times L)$, L – измеряемое расстояние, в мкм	$0,2 \mu\text{m} + 0,3 \mu\text{m}/\text{m}$
Диапазон измерения	До 80 м	± 1500 мкм/м	± 100 мм/м	± 1 мм	0,2 – 20 м
Свидетельство об утверждении типа средства измерения	35362-13	40611-09	35557-13	62405-15	Не внесен в госреестр СИ

Контроль в процессе наладки

Уровень наладочного контроля включает в себя действия, направленные на определение взаимного расположения систем станка, детали и режущего инструмента. Для данной цели могут служить как станочные средства измерения, так и внешние измерительные системы.

Системы измерения инструмента, такие как Zoller [12], используют оптические или лазерные датчики для определения режущих кромок инструмента и положения точек трассировки инструмента относительно базовой поверхности зажимной оснастки. После этого таблица корректоров формируется и передается на станок. Дополнительно могут быть проконтролированы параметры качества инструмента, такие как радиус при вершине, биение для осевого инструмента или профиль для фасонного (рис. 6).



Рис. 6. Система измерения инструмента Zoller smartCheck

Станочные измерительные системы Blum-Novotest GmbH позволяют производить измерение режущего инструмента, установленного в шпиндель станка. Лазерная измерительная система Blum LC50-DIGILOG использует лазерную измерительную скобу для проведения измерений режущих кромок фрезерного инструмента [13]. Данная система может использоваться для наладки станка перед обработкой или оценки износа режущих кромок в процессе работы (рис. 7).



Рис. 7. Лазерная измерительная система LC50-DIGILOG

Инструментальные измерительные щупы (Blum ZX-Speed или Renishaw AA OTS) позволяют производить измерение длины и радиуса инструмента контактным методом. В данных системах режущий инструмент подводится до контакта с измерительной поверхностью, после чего при достижении определенного измерительного усилия происходит формирование триггерного сигнала и считывание координаты положения режущей кромки (рис. 8).

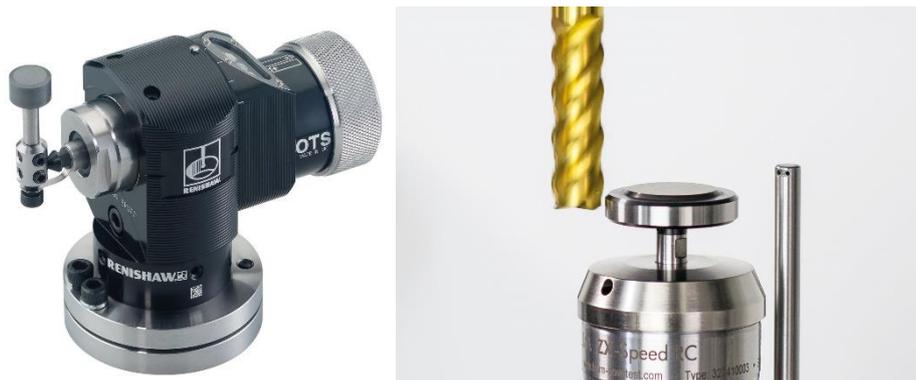


Рис. 8. Инструментальные измерительные щупы

Контроль в процессе производства

Контроль качества в процессе обработки может быть реализован тремя способами:

- контроль параметров протекания процесса обработки;
- измерение заготовок с использованием станочных систем;
- измерение заготовок вне станка.

Одним из методов контроля протекания процесса обработки резанием является измерение вибрации элементов технологической системы [14-16]. Также для данной задачи могут использоваться результаты измерения нагрузки на шпиндель [17], энергопотребления [18] или шума [19, 20], производимого станком. Для этих методов полученный измерительный сигнал проходит фильтрацию, интегрирование и анализ спектра. Изменение амплитудных характеристик сигнала показывает износ режущего инструмента.

Для контроля износа режущего инструмента может использоваться непосредственное измерение режущей кромки. Данную задачу решает система датчик Alicona IF-SensorR25 [21]. Установленный на роботе, он позволяет строить высокоточную трехмерную модель режущей пластины. К сожалению, высокая длительность измерения ограничивает применение данной системы (рис. 9).



Рис. 9. Применение датчика Alicona IF-SensorR25

Станочные измерительные системы могут использовать контактные датчики, как дискретные, так и сканирующие, оптические датчики, лазерные сканирующие системы. Компания Blum предлагает датчик TC63-RG, позволяющий производить измерение шероховатости поверхности. Станочные измерительные системы позволяют получить точность измерения, сопоставимую с измерениями на КИМ (рис. 10).



Рис. 10. Blum TC63-RG

Главным недостатком таких систем является увеличение машинного времени обработки. Решением этой проблемы может служить проведение измерений вне станка. Для этой цели может использоваться широкий круг измерительных систем: ручные средства измерения, КИМ, оптические системы и т. д., при этом необходимо обеспечить:

- достаточную периодичность контроля, позволяющую с высокой вероятностью получить годную продукцию;
- взаимосвязь результатов контроля с методами обработки.

Заключение

Проведенный анализ методов обеспечения качества обработки на станках с ЧПУ показал, что в настоящее время существует большое количество методов мониторинга состояния технологической системы в процессе обработки. Использование станочных измерительных систем позволяет в автоматическом режиме производить корректировку обработки, однако такие системы ограничены в своих возможностях и увеличивают машинное время обработки. Методы контроля качества вне станка позволяют исключить время измерения из машинного времени, но требуют участия оператора в анализе результатов и вводе корректировок в обработку. Системное проектирование на базе моделей позволяет объединить результаты контроля и методы обработки, что делает возможным разработку системы автоматической подналадки станков с числовым программным управлением с использованием методов статистического управления процессами. Такая система позволит исключить оператора из процесса периодической подналадки и за счет этого повысить эффективность работы оборудования, снизить риски ошибок, связанных с человеческим фактором, снизить простой оборудования.

Литература

1. May G., Kiritsis D. Zero Defect Manufacturing Strategies and Platform for Smart Factories of Industry 4.0 //International Conference on the Industry 4.0 model for Advanced Manufacturing. Springer. Cham. 2019. С. 142-152.
2. European Connected Factory Platform for Agile Manufacturing [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.efpf.org/> (дата обращения 19.02.2021).
3. Qu4lity project [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://qu4lity-project.eu/> (дата обращения 19.02.2021).

4. Archenti A. Prediction of machined part accuracy from machining system capability //CIRP annals. 2014– Т. 63. №. 1. С. 505-508.
5. Svoboda O. et al. Definitions and correlations of 3D volumetric positioning errors of CNC machining centers //The IMTS 2004 manufacturing conference. 2004.
6. Lee K.I., Yang S.H. Robust measurement method and uncertainty analysis for position-independent geometric errors of a rotary axis using a double ball-bar //International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2013. Т. 14. №. 2. С. 231-239.
7. Ibaraki S., Knapp W. Indirect measurement of volumetric accuracy for three-axis and five-axis machine tools: a review //International Journal of Automation Technology. 2012. Т. 6. №. 2. С. 110-124.
8. Кольцов А.Г. Диагностика технического состояния металлорежущего оборудования // ОНВ. 2011. №3 (103).
9. Сухинин В.Б., Сергеев В.А. Определение геометрической точности обрабатывающих центров вертикального типа //Динамика систем, механизмов и машин. 2012. №. 2.
10. Серков Н.А. Точность Многокоординатных машин с ЧПУ: теория, эксперимент, практика: диссертация ... доктора технических наук: 05.02.18 / Н.А. Серков. Москва. 2017. 335 с.
11. Mutilba U. et al. Uncertainty assessment for on-machine tool measurement: An alternative approach to the ISO 15530-3 technical specification //Precision Engineering. 2019. Т. 57. С. 45-53.
12. The Entry-Level for the Professional Adjustment and Measurement of Standard Tools [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.zoller.info/ru/produkcija/nastroika-izmerenie/vertikalnye-pribory/smile> (дата обращения 21.02.2021).
13. Antsev A.V. et al. Cutting tool wear monitoring using the diagnostic capabilities of modern CNC machines //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing. 2019. Т. 1260. №. 3. С. 032003.
14. Анцев А.В. и др. Экспериментальная установка контроля вибрации при обработке на станках с ЧПУ //Вестник Воронежского государственного технического университета. 2019. Т. 15. №. 2.
15. Józwik J., Mika D. Diagnostics of workpiece surface condition based on cutting tool vibrations during machining //Advances in Science and Technology. Research Journal. 2015. Т. 9. №. 26.
16. Trejo-Hernandez M. et al. FPGA-based fused smart-sensor for tool-wear area quantitative estimation in CNC machine inserts //Sensors. 2010. Т. 10. №. 4. С. 3373-3388.
17. Seid Ahmed Y. et al. Investigation of coated cutting tool performance during machining of super duplex stainless steels through 3D wear evaluations //Coatings. 2017. Т. 7. №. 8. С. 127.
18. Tsai N.C., Chen D.C., Lee R.M. Chatter prevention for milling process by acoustic signal feedback //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2010. Т. 47. №. 9-12. С. 1013-1021.
19. Ghosh N. et al. Estimation of tool wear during CNC milling using neural network-based sensor fusion //Mechanical Systems and Signal Processing. 2007. Т. 21. №. 1. С. 466-479.
20. Сырицкий А.Б. Разработка метода и средств мониторинга текущего технического состояния токарного инструмента на базе фазохронометрического подхода: Диссертация кандидата Технические наук: 05.11.15 / А.Б. Сырицкий. [Место защиты: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана]. 2016. 137 с.
21. Алтунин К.А., Соколов М.В. Применение нейронных сетей для моделирования процесса токарной обработки //Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2016. Т. 22. №. 1.



Зименко Ксения Владимировна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

аспирант,

направление подготовки: 05.11.14 – Технология приборостроения,

e-mail: kvzimenko@itmo.ru



Афанасьев Максим Яковлевич

Год рождения: 1986

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

к.т.н., доцент,

e-mail: myafanasyev@corp.ifmo.ru

УДК 67.05

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ В РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ЧПУ С ОТКРЫТОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

К.В. Зименко, М.Я. Афанасьев

Научный руководитель – к.т.н., доцент М.Я. Афанасьев

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

В статье рассматриваются возможности современного оборудования с числовым программным обеспечением, предлагаемого ведущими современными зарубежными и отечественными производителями с целью выявления основных тенденций в методах обработки и управления станками. Приведены основные технологии разработки систем с открытым типом архитектуры, которые в данной области развиваются наиболее активно.

Ключевые слова

ЧПУ система, машинное обучение, обработка, станок, металлообработка, открытая архитектура.

Существующая потребность в повышении эффективности современного производства, связанная с минимизацией этапов разработки и вывода товаров на рынок и сокращением жизненного цикла изделия, накладывает высокие требования на эффективность оборудования с числовым программным обеспечением (ЧПУ), так как оно оптимизирует многие рабочие процессы, сокращает время производства и минимизирует влияние человеческого фактора [1]. Вопрос разработки эффективных систем ЧПУ сегодня остается актуальным.

Исследование возможностей современного оборудования с ЧПУ необходимо начать с анализа систем, предлагаемых ведущими современными производителями. Производители ЧПУ, как правило, предлагают сложные готовые системы, которые

выполняют требуемые функции сразу после включения и первичной настройки. Следовательно, анализ сводится к описанию их характеристик и применяемых технологий.

Существующие системы ЧПУ с точки зрения архитектуры можно разделить на открытые и закрытые. Система с открытой архитектурой построена на аппаратном и программном обеспечении, которое можно обновлять и модифицировать. Она может работать с кодами УП различных CAD/CAM систем, использовать различное оборудование (например, инструменты). С другой стороны, проприетарные решения поддерживают только определенный набор инструментов/программирования/операций. В результате возможность перехода на будущие, более производительные системы программирования может быть недоступна, что делает систему ЧПУ более дорогостоящей в долгосрочной перспективе, особенно если для удовлетворения растущих потребностей необходимо будет вводить дополнительное оборудование.

Основными преимуществами систем ЧПУ с открытой архитектурой являются универсальность и функциональность: возможность работы с данными из разных программных пакетов, легкость интеграции с другими компонентами, системами и оборудованием, доступность подключения к внутренним сетям клиентов. В итоге такие системы обладают высокой эффективностью и позволяют экономить затраты.

Большинство производителей систем ЧПУ стремятся к «гарантии будущего», другими словами, к возможности их модернизации, чтобы пользоваться преимуществами непрерывного технического прогресса и удовлетворять растущие потребности клиентов. Отраслевые тенденции показывают, что сейчас используется меньше проприетарных систем, чем было десять лет назад, а открытая архитектура становится все более популярной.

Было проведено исследование состояния современного рынка систем ЧПУ с открытым типом архитектуры с целью сформулировать основные тенденции и технологии, применяемые при создании систем ЧПУ.

Анализ рынка систем ЧПУ

В настоящее время наблюдается быстрый рост рынка ЧПУ систем, что связано с увеличивающимся спросом на автоматизированное производство в промышленном секторе: он был оценен в 7,87 миллиардов долларов США в 2020 году и, как ожидается, достигнет 9,53 миллиардов к 2026 году при среднегодовом росте в 3,3% в период 2021–2026 годов [1]. Основным стимулом к росту в прогнозируемый период будет являться повышение спроса на эффективность производства.

К числу основных конкурентов можно отнести Haas Automation (США), Fanuc Corporation (Япония), Siemens AG (Германия), Mitsubishi (Япония), Heidenhain (Германия), Bosch Rexroth (Германия), Fagor Automation (Испания) и другие. Предлагаемые ими системы рассмотрены ниже.

Компания Fanuc является ведущим производителем систем числового управления класса Hi-End. Линейка представлена моделями для фрезерной, токарной, шлифовальной, штамповочной и лазерной обработки: 30i-B, 31i-B, 0i Plus и другие [2]. Системы числового управления позволяют управлять десятью каналами, 32 осями и восемью шпинделями. В ее системах, среди методов повышения точности обработки, активно применяется искусственный интеллект [3]. Например, интеллектуальная система компенсации температурной деформации, которая позволяет корректировать деформацию шпинделя относительно оси Z, и система автоматического мониторинга износа инструмента, которая отслеживает время работы и фактическую нагрузку на сервопривод шпинделя с автоматической калибровкой при нежелательном изменении параметров обработки. В высокоточных системах осуществляется регулировка разгона и торможения с предварительным анализом до 1000 блоков траектории, что

обеспечивает высокоточную обработку с минимальными отклонениями подачи даже сверхкоротких линейных сегментов [2]. Для получения деталей с высокой чистотой поверхности программа обработки контура дополняется функцией наноинтерполяции.

У компании Siemens флагманской является линейка систем SIMUNERIK. Они имеют расширенную открытую архитектуру, допускают интерполяцию криволинейных траекторий и сжатие кадров. Системы включают программы поддержки ShopMill и ShopTurn, которые позволяют моделировать процессы обработки. Так как компания специализируется на процессах промышленной автоматизации, разработанные ею системы содержат информационную систему управления движением для координации транспортировки, позиционирования, сокращения предварительных и заключительных операций и времени простоя. Одним из основных интересов компании является внедрение машинного обучения. В мае 2018 года компания продемонстрировала работу искусственного интеллекта на реальной машине в тестовой среде. Впервые глубокое обучение с подкреплением было успешно применено для автоматической калибровки реальных станков с ЧПУ, при этом более чем в 30 раз быстрее, чем при работе опытного человека-оператора [1].

Компания Heidenhain производит инструменты CircleDesign для разработки обрабатывающих центров, а также собственную линейку систем ЧПУ TNC 640, 620, 320 и 128 и CNC PILOT 640, основанные на двух процессорах и позволяющие управлять до 13 осями. Минимальная скорость анализа кадра, равная 0,5 мс, позволяет проводить обработку с функцией расширенного предпросмотра (Expanded Look Ahead) с буфером на 1024 кадра для коррекции разгона/торможения. Усовершенствованный контроль подачи (AFC, Advanced Feed Control) регулирует контурную скорость вдоль траектории. Компания стремится усовершенствовать и расширить сферу применения станочных систем с помощью инструментов TeleService для удаленной диагностики, мониторинга и управления системой, а также утилит TNCremoPlus для передачи данных. Компоненты VirtualTNC для управления виртуальными станками позволяют разрабатывать 3D-функции, отслеживающие коллизии при реализации динамического контроля столкновений.

Разработанная компанией Mitsubishi система ЧПУ M800 основана на работе двух процессоров: один для решения задач реального времени и второй, интерфейсный, с операционной системой Windows [3]. Система поддерживает функцию Complete Nano Control с шагом интерполяционных вычислений 1 нм, имеет до четырех каналов управления и до восьми параллельно интерполируемых осей. Система обеспечивает обработку до 151 тысяч кадров в минуту. Платформа iQ на гигабайтном Ethernet объединяет отдельные контроллеры в единую систему управления. Контроль сверхгладких поверхностей и поддержание постоянной контурной скорости основаны на алгоритмах оптимизации ускорения/торможения. Имеется модуль предотвращения столкновений при пятиосевой обработке, программа для создания пользовательских интерфейсов (NC-Designer), а также удаленный терминал (NC Monitor), позволяющий управлять системой через Ethernet.

Компанией Bosch Rexroth разработана система MTX Advanced, имеющая 64 управляемых оси и 12 каналов управления. Она имеет функцию наноинтерполяции, модуль IndraWorks View 3D для трехмерной визуализации обработки и модули моделирования станка IndraWorks [3]. Система имеет масштабируемую коммуникационную платформу, обеспечивающую доступ к открытой архитектуре системы.

Разработанная фирмой FAGOR Automation система ЧПУ 8070 обладает функционалом для выполнения наноинтерполяции, высокоскоростного анализа кадров и высокоскоростной фрезерной, токарной и лазерной обработки. Постинтерполяционные фильтры позволяют получать поверхности высокой степени

чистоты и точности. Система имеет открытую архитектуру и совместима с ПК, она позволяет адаптировать пользовательский интерфейс под конкретную задачу. Максимальное число интерполируемых осей равно 28, поддерживается до четырех шпинделей. Несколько систем могут быть объединены с применением технологии Ethernet. Имеется возможность сплайн-интерполяции и функции удаленной диагностики для профилактического обслуживания оборудования.

Наконец, американская компания Haas Automation предлагает широкую номенклатуру фрезерных станков, фрезерно-токарных обрабатывающих центров со встроенными системами ЧПУ. Среди их параметров можно выделить предпросмотр траектории с анализом 80 кадров, контроль скорости в углах, возможность работы с криволинейными траекториями, возможность четырех- и пятиосевой обработки.

К сожалению, на сегодняшний день в России рынок ЧПУ систем существенно уступает зарубежному, однако существуют российские компании, производящие системы с базовым функционалом средней и низкой ценовой категории. Например, Балт Систем, Ижпрэст и Модмаш-Софт ведут активную конкуренцию на российском рынке недорогих универсальных систем. Системы FlexNC (Станкоцентр) и IntNC Pro (Инженерный центр INELSI) построены на базе контроллера перемещений DeltaTau [4]. Последняя по заявленным характеристикам может быть сравнима с возможностями систем класса Hi-End, например, время выполнения кадра 0,4 мс, дискретность перемещений до 1 нм и глубина предпросмотра до 1500 кадров. Система ЧПУ WinPCNC, разработанная в МГТУ им. Станкина, выполняет полный набор сплайн-интерполяции, однако ее применимость ограничена одноканальной структурой [5].

Особенностью отечественного рынка являются системы, построенные по принципу доработки имеющихся, устаревших СЧПУ российского производства, но данный сегмент предназначен лишь для поддержки старых станков. Также существуют клоны зарубежных образцов, построенные, как правило, на уже снятых с производства платформах.

Что касается разработки систем ЧПУ класса Hi-End, то одним из главных препятствий на пути российских производителей является факт отставания во времени, так как большинство производимых зарубежных систем прошли долгий эволюционный путь, что дает определенные преимущества с точки зрения конкурентоспособности [3]. Успех российских разработок будет во многом зависеть от правильного выбора архитектуры и набора используемых технологий.

Тенденции в разработке систем с ЧПУ

Анализ современных систем выявил следующие характеристики:

- открытость. Производители предоставляют проектировщику и конечному пользователю возможность реализовать требуемую технологию и включить прикладное программное обеспечение;
- возможность высокоскоростной обработки, что подразумевает короткий цикл интерполяции и высокие скорости в каждом кадре управляющей программы (УП);
- многоканальная структура, то есть несколько УП могут быть реализованы параллельно в одной системе ЧПУ. Это свойство используется при многошпиндельной обработке или при комбинированном управлении станком и погрузчиком;
- возможность интерполяции с нанометровым шагом;
- наличие алгоритма упреждающего просмотра кадров. Данный алгоритм позволяет обрабатывать контур с максимально возможной подачей и снижает скорость в критических ситуациях, чтобы избежать превышения допустимого ускорения и/или рывка, путем анализа последующих сегментов траектории и ее параметров. Основным преимуществом коммерческих установок перед открытыми проектами здесь выступает плавающий размер окна предпросмотра;

- параметрическая интерполяция. Большинство систем ЧПУ обладают функционалом для анализа и вычисления сложных криволинейных траекторий разного типа в сочетании с алгоритмом предпросмотра;
- алгоритмы сжатия кадра, когда контур обработки сглаживается путем преобразования линейных отрезков в NURBS кривые при обработке управляющих программ;
- дистанционное управление, которое подразумевает проектирование мобильных операторских терминалов с удаленной диагностикой и настройкой;
- ячеистая топология. Система ЧПУ может быть интегрирована в управление производством. Учитывается тип продукта, отслеживаются простои, плановые ремонты и техническое обслуживание оборудования;
- возможность 3D-моделирования процесса резки для предварительной проверки результатов программы и оптимизации точности и времени обработки;
- диагностические функции: наличие логического анализатора, анализатора частотной диаграммы и кругового теста. Последний применяется для нахождения и оценки ошибок, вызываемых люфтом, различной скоростью контурной обработки, или различными геометрическими ошибками. Он описан в стандарте ISO 230-4;
- применение языков программирования высокого уровня и инструментов для разработки и отладки управляющих программ. Эта функция используется при разработке стандартных циклов и групповых технологий;
- применение программных приложений, например, систем CAD/CAM для параллельного создания УП непосредственно в системе ЧПУ;
- функции искусственного интеллекта (ИИ) для адаптивного управления, компенсации динамических ошибок в станке и прогнозирования износа инструмента, адаптивное управление, основанное на нечеткой логике и нейронных сетях.

Что касается технологий разработки, то часто разрабатываются решения, основанные на нескольких языках программирования [3]. Применяется модель компонентного объекта (Component Object Model), разработанная компанией Microsoft и предназначенная для разработки ПО на основе отдельных компонентов и параллельной разработки. Этот стандарт позволяет создавать ПО модульного типа. При организации внутренних системных параметров используется технология XML (eXtensible Markup Language, расширяемый язык разметки). Веб-технологии используются для создания терминалов удаленного управления. При помощи интернет-сервера, встроенного в ядро системы, а также скриптов, создаются экраны пользовательского интерфейса в браузерах.

В результате проведенного анализа были выявлены основные характеристики и применяемые технологии в современных коммерческих системах ЧПУ класса Hi-End. Высококонкурентный рынок заставляет производителей сосредоточиться на эффективных производственных технологиях и возможности модернизации оборудования, включая станки с ЧПУ. Следствием этого тренда можно назвать широкое распространение систем с открытым типом архитектуры. Помимо этого, интеграция трехмерной печати со станками с ЧПУ является уникальным дополнением к новым производственным единицам и предлагает лучшие возможности работы с несколькими материалами с небольшими потерями ресурсов. В этом отношении развитие идет в сторону универсальности оборудования и интеграции различных типов обработки. Совместимость с сопутствующим программным обеспечением и возможность эффективной работы в составе сложных промышленных систем имеют решающее значение при выборе поставщиков и являются одной из основных стратегий развития для приведенных выше производителей. Наконец, растущие требования к точности и скорости обработки приводят к развитию алгоритмов анализа траекторий, применяемых в современных системах ЧПУ.

Выделенные характеристики и направления развития соотносятся с требованиями потребителей, среди которых можно назвать высокую надежность и функциональность, простоту использования, простоту ввода в эксплуатацию, возможность изменения интерфейса, совместимость с широким кругом устройств и независимость от бренда.

Литература

1. Computer Numerical Control (CNC) Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021-2026), Mordor Intelligence. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/computer-numerical-controls-market>. (дата обращения 10.02.2021).
2. Flexible CNC systems and solutions // Fanuc. The factory automation company. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fanuc.eu/hu/en/cnc/cnc-system>. (дата обращения 12.03.2021).
3. Martinov G.M., Martinova L.I. Trends in the Numerical Control of Machine Tool Systems // Russian Engineering Research. 2010. Vol. 30. № 10. P. 1041–1045.
4. Красильникьянц Е.В., Бурков А.П., Иванков В.А. Применение контроллеров движения для систем управления электромеханическими объектами // Механика, автоматизация, управление. 2008. № 2. С. 45–50.
5. Мартынов Г.М. Университетская система ЧПУ WinPCNC для обучения и производства // Стружка. 2008. № 1. С. 29–30.



Золоедов Евгений Владимирович
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №N3252,
направление подготовки: 23.03.03 – Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов,
e-mail: evgenijzolodov@gmail.com

УДК 004.021

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ АУКЦИОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ МЕЖДУ УЧАСТНИКАМИ РОЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Е.В. Золоедов

Научный руководитель – к.т.н., доцент И.И. Виксинн

Аннотация

В ходе работы был разработан и протестирован метод алгоритма распределения задач между участниками роя беспилотных летательных аппаратов. Проведен эксперимент, наглядно показывающий преимущества разработанного алгоритма. Эксперимент проходил в собственно разработанной симуляционной среде, написанной на языке программирования Python при интеграции таких библиотек, как NumPy, Matplotlib, Threading.

Ключевые слова

БПЛА, аукцион, распределение задач, рой, мультиагентная система, симуляция.

Беспилотные летательные аппараты (далее БПЛА) имеют широкое применение во всех сферах человеческой жизни. Наибольшую пользу БПЛА показывает в тех местах, где нахождение человека может быть опасным, например, на производствах, связанных с эксплуатацией радиоактивных веществ. Также БПЛА используют в военном деле, в частности в разведке, видеосъёмке и доставке. Эти и другие задачи БПЛА выполняют в разы быстрее и качественнее, чем человек. Множество дронов, объединенных для исполнения глобальной цели – рой [1].

Рассмотрим задачу разработки аукциона распределения задач в рое БПЛА. Так как все дроны в рое имеют связь друг с другом, то аукцион будет основываться именно на этом правиле.

Дизайн эксперимента: имеем N – количество дронов, M – количество задач (далее “флаги”), функциональная область размером 25×25 условных единиц, точка старта и точка доставки “флагов” (далее “база”). Каждый дрон имеет свой ID (от 1 до N). Каждый “флаг” имеет свой ID (от 1 до M).

Цель агента - выполнить свою конкретную задачу. Агент справляется со своей задачей в том случае, когда доставляет флаг на “базу”.

Цель роя - выполнить все задачи. Группа БПЛА справится с глобально поставленной задачей в том случае, когда все флаги будут доставлены на “базу”.

Дроны могут иметь 2 типа статусов:

- 1) «свободен», если агент не выбрал для себя задачу;
- 2) «занят», если агент выбрал для себя задачу и выполняет ее.

Для выполнения одной большой групповой задачи, агенты коллективно разделяют одну большую задачу на несколько маленьких, распределяя их между собой. Агенту

достается задача при условии, что расстояние от него до ближайшей цели минимальное среди всех дронов роя и он не занят выполнением другой задачи. Задачи могут иметь 3 типа статусов:

- 1) «невыполненная», если ни один из агентов не взял ее для выполнения;
- 2) «выполняется», если агент взял ее для выполнения, но еще не выполнил;
- 3) «выполнена», если агент выполнил данную задачу.

Условиями выполнения задачи являются достижение агентом точки, где лежит «флаг», и перенос данного флага в зону сдачи задания, после этого статус задачи с «Выполняется» меняется на «Выполнена», а статус агента с «Занят» на «Свободен». Группа достигает цели только при условии, что все задачи имеют статус «Выполнена» и все агенты – статус «Свободен».

Описание алгоритма распределения задач: в каждом дроне на каждой итерации его перемещения происходит следующее:

1. Расчет расстояний до всех задач, которые имеют статус «Невыполненная».
2. Передача данных другим дронам роя, участвующим в аукционе.
3. Составление единого массива значений.
4. Нахождение минимального элемента в полученном двумерном массиве.

Строка – ID дрона, столбец – ID флага.

5. Дрон с ID строки получает задачу ID флага.

Повторение до тех пор, пока из в аукционе не останется дронов.

Проведение эксперимента: в ходе эксперимента было использовано 3 дрона. Пунктирная линия – путь дрона до цели. Сплошная линия – путь дрона на “базу”. Чтобы оценить зависимость алгоритма и всего симулятора в целом, было принято решение использовать несколько наборов входных данных для “флагов”, их количество изменялось от 6 до 21. (рис. 1).

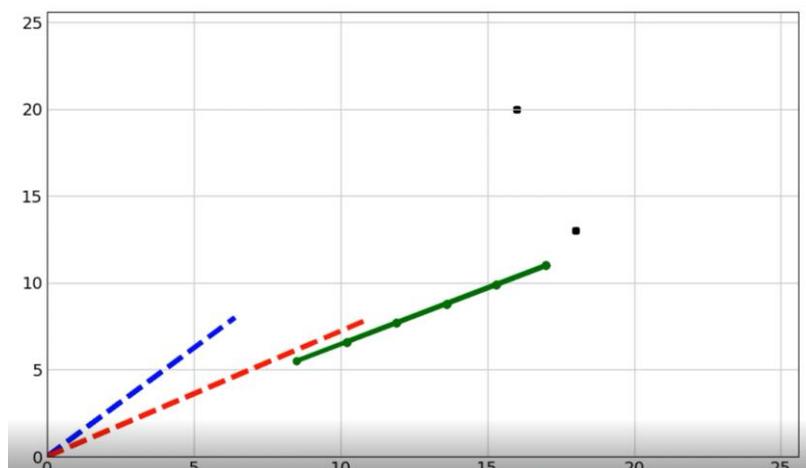


Рис. 1. Результаты эксперимента

Зависимость времени симуляции от количества целей (рис. 2). Синим цветом на графике отмечены полученные данные, красной же линией отмечена линия тренда графика (ожидаемое время выполнения глобальной задачи), обозначающая собой линейную зависимость. На графике видно, что время работы нашей симуляции при достаточно малом числе задач превышает ожидаемое время. Это связано с тем, что модель алгоритма на малом числе задач не показывает свою эффективность, так как все задачи будут выполнены за одинаковое число полетов каждым дроном. Например: 3 дрона сделают одинаковое число полетов за целями. Но при 19, 20, 21 и более целей, алгоритм показывает свою эффективность, так как дроны совершают разное число полетов.

Зависимость времени работы программы от количества целей (рис. 3). Синим цветом на графике отмечены полученные данные, красной же линией отмечена линия тренда графика (ожидаемое время выполнения глобальной задачи), обозначающая собой линейную зависимость. Из представленного графика можно сделать вывод, что алгоритм примененный в симуляторе, показал линейную зависимость с ростом числа задач, что говорит о высокой эффективности разработанного алгоритма для распределения задач в рое БПЛА.

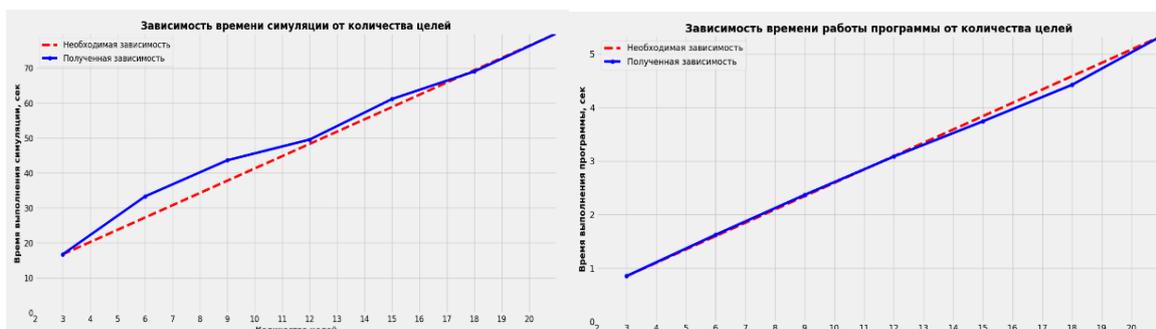


Рис. 2. Зависимость времени симуляции от количества целей

Рис. 3. Зависимость времени работы программы от количества целей

Перспективы работы:

1. После разработки и применения модели алгоритма аукциона распределения задач в тестовом симуляторе необходимо применить алгоритм непосредственно на физических БПЛА.
2. Разработка новых моделей алгоритмов аукциона распределения задач в рое БПЛА, а также сравнение их с уже имеющимися результатами.

Литература

- 1 Мариненков Е.Д. и др. Анализ защищенности информационного взаимодействия группы беспилотных летательных аппаратов //Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. №. 5.

Иванова Анастасия Евгеньевна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

Институт Дизайна и Урбанистики,

студент группы №С42041,

направление подготовки: 09.04.03 – Прикладная информатика.

Анализ данных и моделирование городских процессов,

e-mail: anastasiiaivans@yandex.ru



Прокудин Дмитрий Евгеньевич

Год рождения: 1970

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,

центр юзабилити и смешанной реальности, аналитик;

Санкт-Петербургский государственный университет,

д. филос. наук, доцент,

e-mail: prokudin_de@corp.ifmo.ru, d.prokudin@spbu.ru

УДК 004.04:303:351.85

**АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННОГО
СОЦИОКУЛЬТУРНОГО ИНТЕРНЕТ-ПРОСТРАНСТВА:
ИСТОЧНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ
ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

А.Е. Иванова

Научный руководитель – д.филос.н., доцент Д.Е. Прокудин

Работа выполнена в рамках темы НИР «Технологии сбора и обработки данных об информационном социокультурном пространстве».

Аннотация

В работе были рассмотрены наиболее эффективные технологии сбора и обработки данных о социокультурном пространстве для конкретных уровней. Произведена визуализация результатов обработки данных. По результатам реализации методов была описана обновленная структурно-функциональная схема социокультурного интернет-пространства с добавлением новых и обновленных элементов, новых информационных процессов, которые являются методами и технологиями партисипативности, протекающими между элементами социокультурного информационного пространства города.

Ключевые слова

Социокультурное пространство, партисипативность, информационные процессы, данные, извлечение, обработка, информационное пространство, первазивные элементы.

Основной целью работы являлся сбор, обработка и визуализация данных об элементах информационного социокультурного пространства. На основе обработки полученных данных была доработана структурно-функциональная схема архитектуры социокультурного интернет-пространства.

Актуальность работы определяется тем, что на данный момент существует федеральный проект «Цифровая культура», который нацелен до 2024 года создать условия для повышения доступности и возможности участия граждан в культурной

жизни путем цифровизации услуг культуры и формирования информационного пространства знаний [1].

Задачами проекта являются:

- создание виртуальных концертных залов;
- проведение онлайн-трансляций и мероприятий;
- создание мультимедиа-гидов по экспозициям и выставочным проектам, при посещении которых возможно получение информации о произведениях с использованием технологии дополненной реальности;
- формирование системы мониторинга востребованности информационных ресурсов, включенных в Перечень информационных ресурсов о культуре России среди граждан Российской Федерации и иностранных граждан [2].

Практическая значимость для участников социокультурного интернет-пространства определяется в следующем. Государственные органы смогут собирать статистику и выполнять функции, направленные на укрепление и развитие культурной политики с учетом пожеланий предпринимателей и граждан [3]. В бизнесе изучение социокультурного пространства является главным инструментом эффективного удовлетворения желаний жителей и улучшение своих услуг и доходов [4]. Жители становятся непосредственными участниками принятия решений в интернет-пространстве посредством использования информационных технологий. С их помощью остальные уровни могут получать обратную связь и использовать эти знания для коррекции своей деятельности.

Так как основной задачей являлось изучить методы сбора и обработки информации, а потом выбрать эффективные и провести их типологию, было принято решение по реализации нескольких методов для наглядного представления воздействия таких решений на социокультурное информационное городское пространство.

Один из примеров – метод опроса, который, как было выявлено в ходе исследования, является эффективным вариантом для установления обратной связи с аудиторией. Для анализа был составлен опрос на тему участия в развитии культурного пространства. Создание опроса происходило с помощью Google Forms, а распространение производилось на двух площадках – ВКонтакте и Twitter. Респондентов спрашивали про то, как часто они посещают социокультурные объекты, пользуются ли они формой обратной связи, принимают ли участие в промо мероприятиях, например, театров или музеев. На рис. 1 представлены результаты.



Рис. 1. Результаты онлайн-опроса на тему социокультурного пространства

В итоге люди были заинтересованы в участии и в формировании социокультурного пространства своего города. Многие делились своими примерами взаимодействия с культурными объектами, чем помогли дополнить базу новыми элементами.

Результаты, полученные от реализации различных методов, показали, что с их помощью можно будет проанализировать изменения в социокультурном интернет-пространстве, выбрать нужные тактики привлечения аудитории и реализовать возможность вовлечения граждан в пространство путем партисипативности. Невыполненным является только то, что не все методы можно было опробовать, так как для некоторых из них, где должен осуществляться сбор данных, нужно проводить сбор через реальный объект, а на данный момент это не всегда доступно. Однако это никак не повлияло на полноту полученных результатов от других методов. И на их основе была составлена структурно-функциональная схема социокультурного интернет-пространства (на рис. 2).

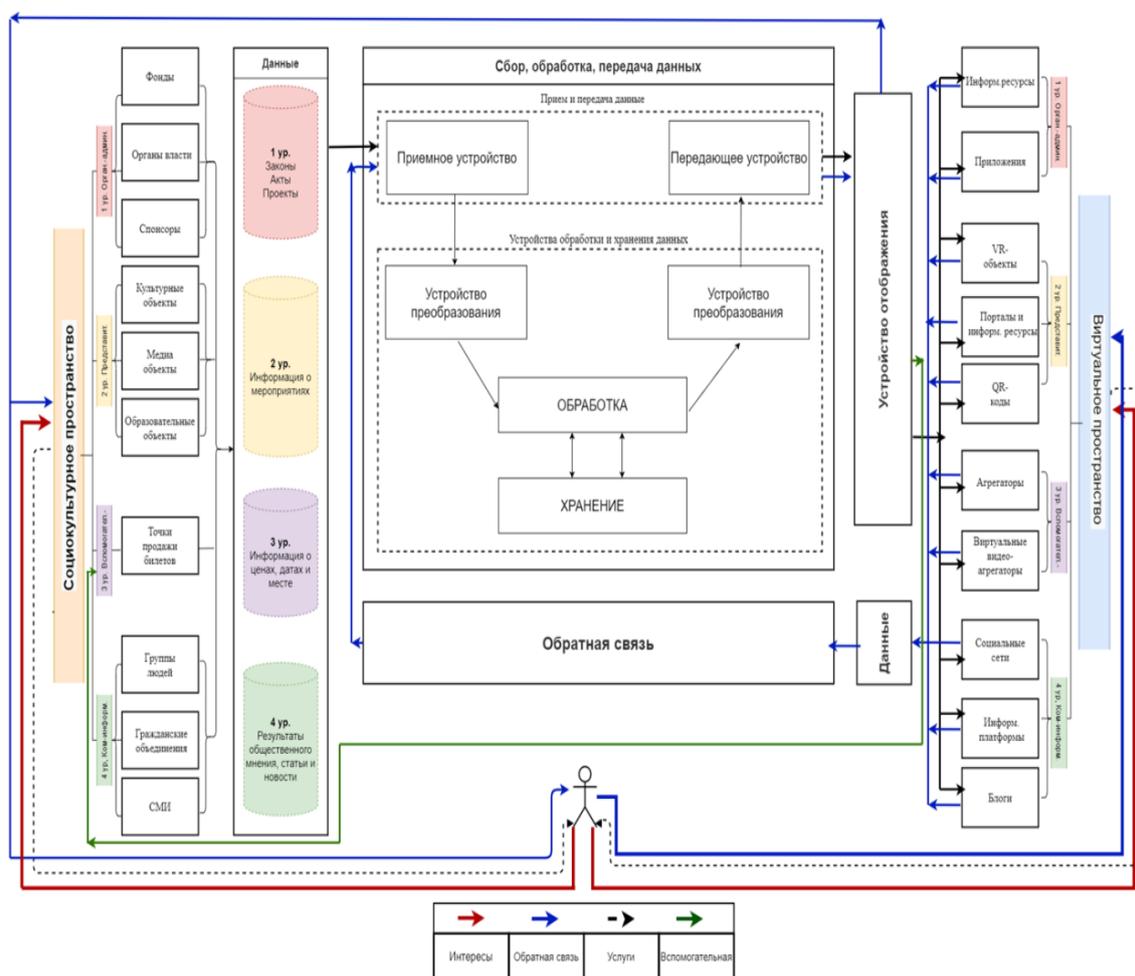


Рис. 2. Структурно-функциональная схема социокультурного пространства

В данной работе социокультурное пространство делится на 4 уровня:

1. На «Организационно-административном уровне» в реальной социокультурной среде находятся элементы, представляющие государственную власть, фонды, спонсоров и агентства по организации культурно-массовых мероприятий.
2. В реальной социокультурной среде «Представительский уровень» обозначен в виде таких элементов, как театры и музеи, а также образовательные учреждения.
3. На «Вспомогательном уровне» представлены различные агрегаторы и их

реальные воплощения, например, точки продажи билетов, которые являются связующим звеном между другими уровнями.

4. На «Коммуникативно-информационном уровне» расположены группы, гражданские объединения и СМИ, а также их виртуальное представление – сообщества в социальных сетях и блоги.

На схеме представлены основные уровни и элементы социокультурного интернет-пространства и установлены взаимосвязи между ними, а также информационные процессы между элементами социокультурного интернет пространства. Схема состоит из двух видов сред представлений: социокультурное реальное и интернет-пространство. В схему был добавлен блок, представляющий собой процесс сбора, обработки, накопления, хранения и распространения данных. Данные проходят путь от реального пространства до отображения в своем виртуальном подобии, при этом из информационного пространства назад данные проходят через блок «обратной связи» и опять происходит процесс обработки, чтобы на выходе вернуться в реальное пространство, а затем они направляются к человеку или процесс запускается вновь. Это говорит о том, что система полностью связана между своими элементами, своевременно обновляется и пополняется новой информацией.

Для проверки работоспособности структурно-функциональной схемы было проведено исследование реализации информационного пространства Большого драматического театра имени Г. А. Товстоногова. Проведя анализ медиа-пространства, можно прийти к заключению, что информационные порталы, агрегаторы и социальные сети театра образуют единое информационное и культурное пространство, вовлекая людей в диалог, а также в участие в изменение его вариаций в реальном пространстве. В интернет-среде присутствуют первазивные элементы, через которые проявляются партисипативные методики для привлечения людей в деятельность учреждения. По итогу проведения апробации был сделан вывод, что уточненная схема на структурно-функциональном уровне адекватно отражает социокультурное городское пространство и его информационные процессы.

В результате проделанной работы был проведён обзор методов и технологий сбора и обработки данных социокультурного интернет-пространства. Были выявлены наиболее эффективные технологии для конкретных уровней. По результатам сравнительного анализа были изучены и дополнены элементы культурного пространства. На основе этого была проведена актуализация полученных ранее данных. Изучены популярные методы визуализации. Произведена визуализация результатов обработки данных. Были реализованы методы. Была составлена обновленная структурно-функциональная схема социокультурного интернет-пространства с добавлением новых и обновленных элементов, новых информационных процессов, которые являются методами и технологиями, протекающими между элементами социокультурного интернет-пространства. Произведен анализ результатов апробации схемы.

В будущем планируется создать на основе структурно-функциональной схемы детализированную модель, которая поможет полностью отобразить все уровни, элементы и процессы, а также сформулировать предложения по прикладному использованию полученных результатов.

Литература

1. Цифровая культура [Электронный ресурс]. URL: https://xn--80aarpemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/projects/kultura/tsifrovaya_kultura (дата обращения: 20.12.2020).
2. Федеральный проект «Цифровая культура» [Электронный ресурс]. URL: <https://culture.gov.ru/about/national-project/digital-culture/> (дата обращения: 20.12.2020).

20.12.2020).

3. Копалова О.С., Черкасова В.Ю. Информационное взаимодействие органов власти с населением // Муниципалитет: экономика и управление. 2017. №2 (19). С. 14-20.
4. Друкер П.Ф. Эффективное управление предприятием. Вильямс. 2018. 224 с.



Ким Юлия Вячеславовна

Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №N42001,
направление подготовки: 23.04.03 – Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов,
e-mail: yulia1344@gmail.com



Кайсина Ирина Алексеевна

Год рождения: 1994
ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»,
кафедра «Сети связи и телекоммуникационные системы»,
старший преподаватель,
e-mail: irinakayisina25@gmail.com



Викснин Илья Игоревич

Год рождения: 1992
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: wixnin@mail.ru

УДК 004.853

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО
ЗРЕНИЯ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ ПОСАДКИ БЕСПИЛОТНОГО
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В СЛУЧАЯХ ИСКАЖЕНИЯ
ВХОДНОЙ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Ю.В. Ким, И.А. Кайсина

Научный руководитель – к.т.н., доцент И.И. Викснин

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

В работе описана система компьютерного зрения для организации безопасной посадки беспилотного летательного аппарата в условиях потенциальных искажений входной видеоинформации. Представлена последовательность методов для предварительной обработки изображения и обучена нейронная сеть для распознавания состояния посадочной площадки. Достигнутая точность распознавания на тестовой выборке составила 0.99.

Ключевые слова

Беспилотный летательный аппарат, компьютерное зрение, нейронная сеть, обработка изображений, распознавание образов.

В настоящее время важным феноменом развития экономики, науки и техники является сфера Индустрии 4.0: интеграция кибер-физических систем в производственную область. Одной из основных тенденций Индустрии 4.0 являются автономные роботы (наземные и воздушные). В рамках данного исследования будут рассматриваться беспилотные летательные аппараты (БПЛА), а именно аспект распознавания объектов с видеопотока на борту БПЛА.

В процессе использования систем компьютерного зрения БПЛА существует риск неверного распознавания заданных объектов в случае искажения входной визуальной информации. Искажения могут появиться из-за неблагоприятных погодных условий (туман, дождь, снег), низкой разрешающей способности камеры.

Актуальность исследования заключается в том, что в условиях введения БПЛА в различные сферы жизни общества необходимо обеспечить безопасность функционирования БПЛА в отношении людей и окружающей среды. Предполагается разработать систему компьютерного зрения, способную минимизировать искажения, возникающие в процессе получения видеопотока. Предполагается применять компьютерное зрение для организации безопасной посадки БПЛА, а именно, распознавание состояния посадочной площадки и принятие решений относительно дальнейшего движения на основе проанализированной видеоинформации.

Цель исследования: обеспечение точности распознавания посадочной площадки в условиях искажения входной визуальной информации посредством системы компьютерного зрения беспилотного летательного аппарата не менее 85%. Реализация цели потребовала решения следующих задач:

- анализ общих концепций и проблем построения систем компьютерного зрения для беспилотных летательных аппаратов;
- разработка системы компьютерного зрения, обеспечивающей повышение точности распознавания образов в условиях искажения входной визуальной информации;
- проверка результативности разработанной системы компьютерного зрения.

Существует множество реализаций для организации посадки БПЛА методами компьютерного зрения на неподвижную [1] и подвижную [2] площадку.

В данном исследовании акцент ставится на адаптацию системы компьютерного зрения с потенциальными искажениями входной визуальной информации. Под входной визуальной информацией понимаются кадры видеопотока, получаемые с камеры.

Процесс распознавания объектов на изображении можно разделить на три основных этапа:

- предварительная обработка изображения;
- обработка результатов подготовки;
- детектирование и классификация заданных объектов.

В процессе съемки камерой БПЛА может возникнуть ряд искажений в силу погодных условий, времени съемки или разрешающей способности камеры:

- размытие;
- шум;
- засвет;
- недостаточная освещенность.

Предполагается распознавать состояния посадочной площадки для оценки возможности посадки:

- площадка открыта – можно начать посадку;
- площадка частично открыта или закрыта – необходима посадка на резервную площадку.

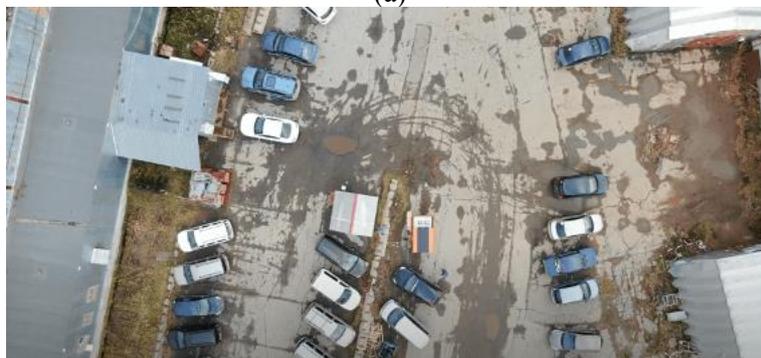
Площадка считается открытой, если видны все 4 метки. Технические характеристики посадочной площадки перечислены ниже:

- габариты (длина*ширина*высота) – 3000*1600*1500 мм;
- масса – 300 кг;
- энергопотребление – до 1.5 кВт;
- класс пылевлагозащиты – IP43;
- интерфейсы передачи данных – Ethernet, KTR, DataLink;
- системы точного позиционирования – RTK, ИК маяк, оптический маркер;
- автономность при отключении внешнего питания – 48 ч;
- время полной зарядки АКБ БВС – 3 ч.

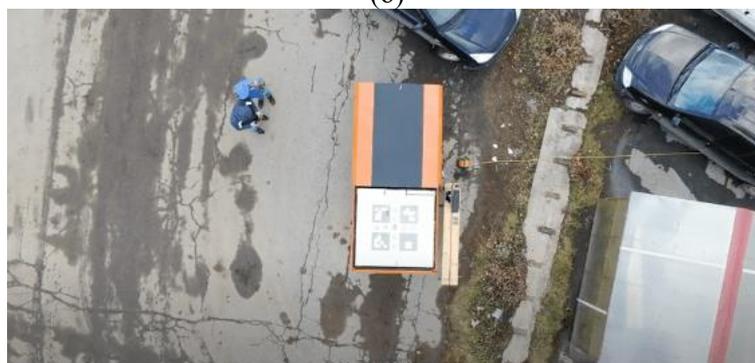
Сбор изображений состояний посадочной площадки осуществлялся посредством съемки посадочной площадки на БПЛА DJI Mavic 2 ZOOM камерой 4K: количество кадров в секунду – 30, разрешение изображений – 2688 x 1512. Съемка велась в солнечную погоду, в снег и в темное время суток. На рис. 1 представлены состояния посадочной площадки.



(а)



(б)



(в)

Рис. 1. Состояния посадочной площадки: (а) – закрытая; (б) – частично открытая; (в) – открытая

Перед тем, как проводить распознавание образов, необходимо произвести предварительную обработку полученного изображения, а именно минимизировать искажения входной визуальной информации и выделить паттерн распознаваемого объекта. Посадочная площадка имеет цветные метки, поэтому было решено их выделить на общем фоне посредством повышения контрастности изображения. Для этого были проанализированы следующие методы:

- выравнивание гистограммы интенсивности;
- гамма-коррекция.

В табл. 1 представлено сравнение работы данных методов по времени работы и средней насыщенности цвета результирующего изображения.

Таблица 1

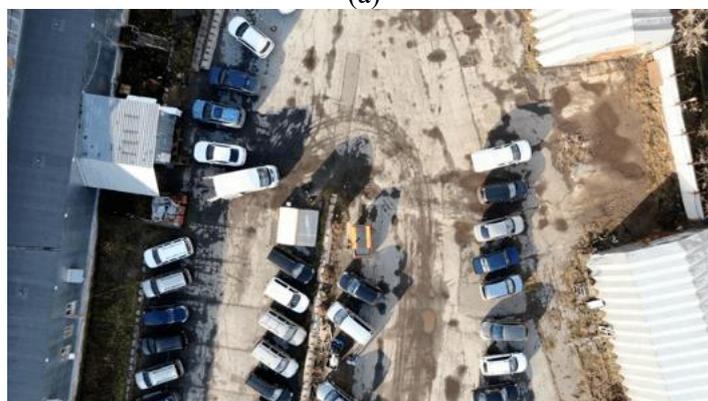
Показатели работы методов повышения контрастности

Метод	Время работы (с)	Средняя насыщенность цвета
Гамма-коррекция	55.85	52.48
Выравнивание гистограммы интенсивности	0.02	61.46

В силу высокой скорости работы и более значительного повышения контрастности предпочтение было отдано выравниванию гистограммы интенсивности [3]. Результат его работы представлен на рис. 2.



(а)



(б)

Рис. 2. Результат повышения контрастности посредством выравнивания гистограммы интенсивности: (а) – исходное изображение; (б) – обработанное изображение

После повышения контрастности образуется дополнительный шум за счет усиления насыщенности мелких деталей. Для снижения зашумленности предполагается произвести сглаживание. Было произведено сравнение трех фильтров сглаживания: медианный, двухсторонний и гауссов. Параметры сравнения: время работы, пиковое соотношение сигнала к шуму, индекс структурного сходства. Результаты сравнения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели работы фильтров сглаживания

	Время работы (с)	PSNR (Дб)	SSIM
Медианный фильтр	0.0014	27.9789	0.962
Двухсторонний фильтр	0.3721	30.11	0.981
Гауссовый фильтр	0.0007	27.1969	0.9601

В силу высокой скорости работы, что позволит обрабатывать видеопоток в реальном времени был выбран гауссов фильтр [4]. По другим показателям все три фильтра показали схожие результаты. Гауссов фильтр производит сглаживание согласно формуле (1).

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

Результат работы фильтра представлен на рис. 3.

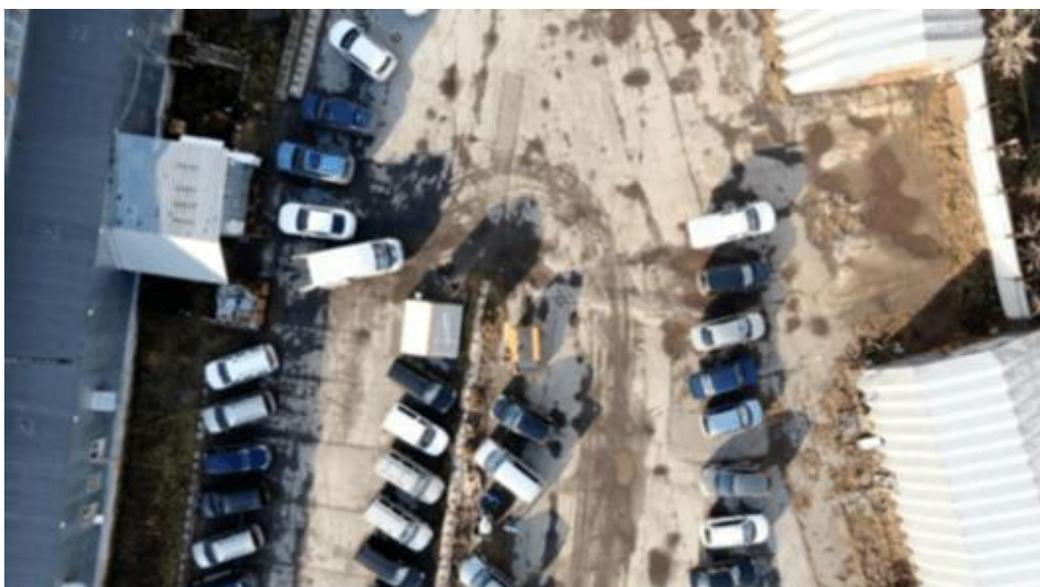


Рис. 3. Результат сглаживания фильтром Гаусса

Для распознавания состояния посадочной площадки было решено обучать нейронную сеть в силу своей гибкости и адаптации под большие объемы данных. Количество изображений – 22095: из них 8621 изображений закрытой площадки, 13374 – открытой. Данные были разделены на обучающую и тестовую выборку в соотношении 90 к 10. Были протестированы архитектуры YOLO, Resnet и Mobilenet. На рис. 4 представлены матрицы ошибок для каждой архитектуры.

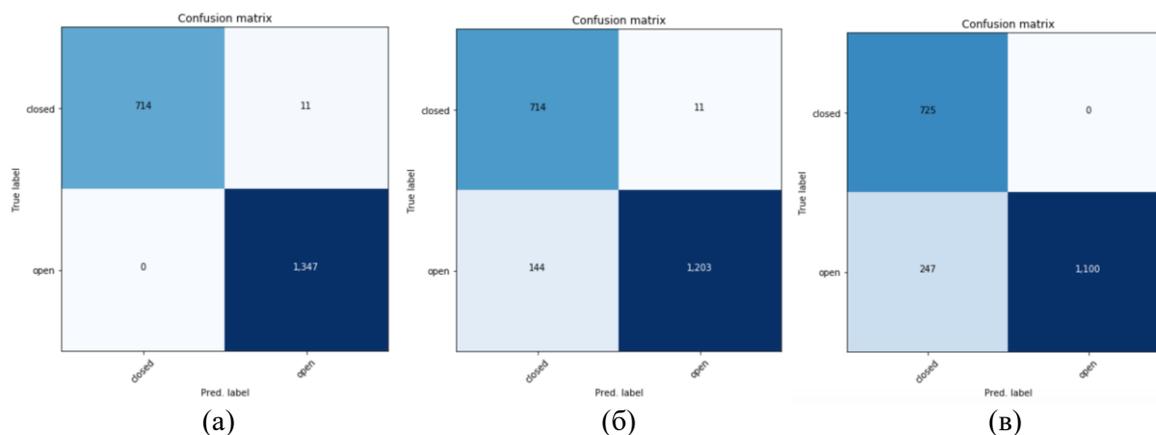


Рис. 4. Матрицы ошибок: (а) – YOLO; (б) – Resnet; (в) – Mobilenet

На архитектуре YOLO на тестовой выборке удалось достигнуть точности 0.99, на Mobilenet – 0.93, на Resnet – 0.88. Время распознавания одного кадра – 300 мс. Результаты распознавания представлены на рис. 5.

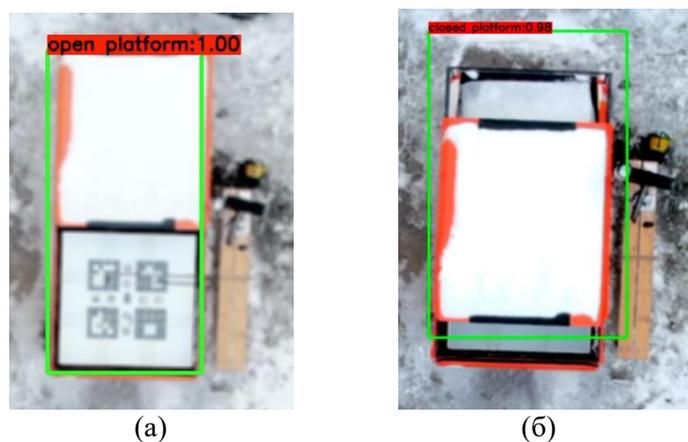


Рис. 5. Результаты распознавания: (а) – открытой площадки; (б) – закрытой площадки

В ходе работы была предложена совокупность данных методов для выделения паттерна посадочной площадки; обучена нейронная сеть для распознавания двух состояний посадочной площадки; достигнута точность распознавания 0.99 на тестовой выборке. В дальнейшем планируется произвести проверку результативности разработанной системы компьютерного зрения на реальной системе: интеграция системы в БПЛА и производство распознавания состояния посадочной площадки в реальном времени.

Литература

1. Rabah, M., Rohan, A., Talha, M., Nam, K. H., Kim, S. H., «Autonomous vision-based target detection and safe landing for UAV» // International Journal of Control, Automation and Systems. 2018. N. 16(6), P. 3013-3025.
2. Lee H., Jung S., Shim D.H., «Vision-based UAV landing on the moving vehicle» // Proceedings of the 2016 International conference on unmanned aircraft systems (ICUAS). 2016. P. 1-7.
3. Kaur M., Kaur J., Kaur J. «Survey of contrast enhancement techniques based on histogram equalization» // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2011. N. 2(7). P. 137-141.

4. Kumar B.S., «Image denoising based on gaussian/bilateral filter and its method noise thresholding» // Signal, Image and Video Processing. 2013. N. 7(6). P. 1159-1172.



Колесникова Дарья Викторовна
Университет ИТМО,
факультет систем управления
и робототехники,
аспирант группы №7761,
направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии,
e-mail: kolesnikova_d@itmo.ru



Юрьева Радда Алексеевна
Университет ИТМО,
факультет систем управления
и робототехники,
к.т.н., доцент,
e-mail: raddayurieva@gmail.com

УДК 004.056.55

ОСОБЕННОСТИ ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПЛАНИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА

Д.В. Колесникова

Научный руководитель – к.т.н., доцент Р.А. Юрьева

Аннотация

В работе проанализировано применение информационной поддержки принятия решений при планировании производственных процессов, приведены цели и задачи работы систем поддержки принятия решений. Описаны пошаговый итерационный алгоритм принятия решений и исследования в области систем поддержки принятия решения.

Ключевые слова

Информационная система, управление предприятием, оптимизация производственного процесса, управление, поддержка принятия решений.

В наше время инновации определяют развитие и научную составляющую предприятий, позволяют им обеспечивать автоматизацию процессов внутри производства и обеспечивают гибкое управление всей структурой предприятия в целом. Но внедрение цифровых решений повышает возникновение рисков и внештатных ситуаций, которые могут повлиять на работу организации. Так возникает проблема обеспечения и повышения эффективности и надежности процессов управления производством. Данная задача может решаться с помощью использования научно-обоснованных методов выработки и принятия решений при использовании математического аппарата и инструментов вычислительных систем.

Однако данный вопрос недостаточно рассмотрен как в теоретическом, так и в практическом плане, хотя проблема не является новой. Наиболее используемые методы обладают хорошей теоретической основой, но многие мало рассмотрены при использовании в реальных системах, которые решают экономические или социальные задачи, а также применяются в процессе планирования производства, в частности. Также не рассмотренным является вопрос применения таких методов в разных производствах,

ведь необходимо учитывать специфику и особенности, которые влияют на оценку решений и действий. Подводя итог, важным вопросом остается учет специфики производств, их планирования и управления в адаптации и разработке алгоритмов и методов для реализации поддержки принятия решений.

В ходе информационной поддержки принятия решений применяются специальные автоматизированные системы. Целью данных систем является взаимодействие и помощь оператору или управляющему лицу в процессе управления предприятием или его процессами. Система помогает осуществлять объективный анализ предметной области и исключать ошибку человеческого фактора. Интеграция информационных систем для управления и систем управления базами данных (СУБД) позволяет реализовать данную технологию.

Системы поддержки принятия решений (СППР) оперируют большим количеством данных, которые человек не всегда способен охватывать и анализировать [1]. Так для систем возникают две основные задачи в ходе работы:

- упорядочение возможных решений по определенному критерию (ранжирование);
- оптимизация, предназначенная для выбора наилучшего решения (по выбранному параметру) из множества возможных.

Как можно отметить, для обеих задач важным элементом является выбор критерия или их совокупности, по которым будет осуществляться необходимый процесс, производиться оценка и составляться возможные решения. В итоге работы СППР помогает определить наиболее благоприятный результат для заданного события или производственного процесса. Кроме того, система может быть построена на основе искусственного интеллекта, осуществлять сложные расчеты и моделирования, то есть являться интеллектуальной системой.

Система поддержки принятия решений – это решение, позволяющее объединить в себе инструменты для анализа данных, процессов моделирования и прогнозирования, а также принятия и поддержки организационных и управленческих вопросов. Инструменты для обеспечения выполнения данных задач могут быть как собственными разработками, так и внешними программными продуктами (например, Oracle, IBM, PLM-системы) [2].

Процесс принятия решений включает в себя пять стадий, каждая из которых имеет конечное время исполнения и определенное количество ресурсов (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм процесса принятия решения

Отличительным фактом информационной поддержки принятия решений от процесса выработки решения является то, что процесс поддержки является итерационным. Данный процесс включает в себя СППР и человека. СППР представляется в роли вычислительной части и объекта управления, а человек занимает роль управляющего звена, обеспечивающего ввод входных данных и итоговую оценку полученных результатов [3, 4].

На рис. 2 представлен алгоритм итерационного процесса принятия решений.

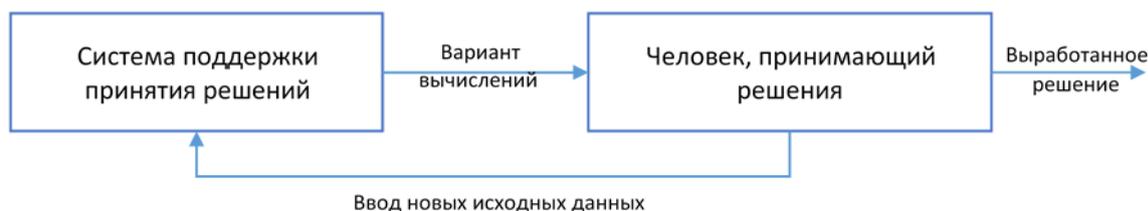


Рис. 2. Алгоритм итерационного процесса принятия решений

Особенностью информационной поддержки принятия решений является взаимодействие человека и системы, что добавляет отличительные характеристики работе и получаемым результатам:

- решение слабо структурированных задач;
- контроль итерационного процесса оператором;
- гибкость к потребностям оператора, программного и технического обеспечения;
- интеграция широко используемых методов обработки данных и возможностей математических моделей.

Разработанные решения рассматриваются и утверждаются на основе результатов обработки данных, которые исходят из различных источников (рисунок 3), входящих в состав системы (рис. 3).



Рис. 3. Составляющие части для СППР

СППР включает в себя следующие части:

- базы данных (БД) и моделей (БМ);
- программная система управления, которая состоит из систем управления БД и БМ (СУБД, СУБМ), а также системы, которая отвечает за реализацию управления интерфейсом между пользователем и компьютером.

При построении системы принятия решений необходимо учитывать и придерживаться следующих шагов:

- анализировать область и решаемую задачу – данный шаг обеспечивает получение корректных выходных данных;

- собирать и анализировать необходимые данные;
- осуществить выбор модели;
- проведение экспертного анализа и интерпретации моделей – осуществляется с целью проверки работы системы, оценки входных данных, на основе которых проведен анализ;
- внедрение моделей и проведение работ с ними;
- оценка и внедрение системы принятия решений;
- сбор обратной связи – данная итерация производится на каждом шаге для обеспечения гибкости системы и улучшения получаемого решения.

Для построения СППР используются различные подходы:

1. Структурированный подход – использование средств интеллектуального анализа – выбор и принятие решения производится при использовании опыта, которые был получен ранее, или (и) при рациональном подходе к анализу внешних и внутренних воздействий.

2. Логический подход – использование свойств булевой алгебры и алгоритмов нечеткой логики. Система, построенная на таком методе, является машиной доказательства теорем. База данных заполнена аксиомами, которые описывают модель, а правила логического вывода обосновывают отношения внутри системы. Выходными данными являются доказательства теорем, которые представляют цели работы. Так оперативный или производственный план формируется в виде цепочки действий (с помощью трассировки) для достижения цели.

Основным недостатком данного подхода является необходимость использования больших мощностей для доказательства теорем и перебора возможным правил и цепочек, и, соответственно, в случае, когда БД мала, результативность расчетов повышается. Машина для доказательства теорем обеспечивает мощность.

3. Эволюционный подход – основная проблема и внимание уделяются построению модели и правилам внутри нее, которые приводят систему к изменениям (то есть приводят к эволюции). Для разработки модели могут использоваться различные подходы: набор логических правил, генетические алгоритмы и другое.

Однако эволюционных моделей не существует непосредственно, нельзя их построить, можно использовать только эволюционные алгоритмы обучения. Но такие модели имеют определенные, свойственные им особенности, которые дают возможность говорить о них как об обособленном подходе. Например, можно выделить особенность, что основная работа разработчика заключается в разработке алгоритма модификации систем, а не в простом построении модели.

4. Имитационный подход – непосредственно связан и ассоциируется с использованием «черного ящика». «Черный ящик» подразумевает под собой модуль, устройство или набор данных, о которых известны только входные и выходные данные, а также их специфика, но не известна внутренняя структура. При данном подходе объектом выступает «черный ящик». При работе с данным подходом оператору не требуется информация о процессе функционирования модели, основным фактором является то, что в аналогичном случае поведение будет то же. Однако это и является главным недостатком данного подхода, так как модель обладает низкой информационной способностью.

Имитационная модель строится целенаправленно и, таким образом, отображает исследуемый объект адекватно и подробно. Так, еще рассматривается процесс функционирования системы и с помощью программно-реализованных средств строится логико-математическая модель. То есть имитационное моделирование предполагает адекватное отображение исследуемой системы и процессов внутри нее с помощью модели. Имитация – это процесс, подразумевающий рассмотрение и сравнение

параметров или характеристик исследуемого объекта или системы при их вариативном просчете.

Результатом проведения исследования возможных подходов и методов является то, что для разработки СППР необходимо выбирать гибкие решения. При построении СППР часто используется интеграция нескольких подходов, так как часто трудно найти границы между ними. В ходе рассмотрения и анализа возможных методов был сделан вывод, что интеграция имитационного и интеллектуального подхода может обеспечить цельный подход к исследуемой задаче, так как имитационное моделирование использует серии экспериментов для тестирования и исследования моделей с помощью вариативных подсчетов и сравнения полученных результатов, параметров. Данные модели могут быть представлены в виде компьютерных программ (или их некоторого количества). Интеграция с интеллектуальным подходом позволит применять машинное обучение для реализации исследования зависимостей наблюдаемых и скрытых переменных объекта между собой, а также для оценки скрытых компонент по наблюдаемым компонентам произвольного объекта.

Заключение

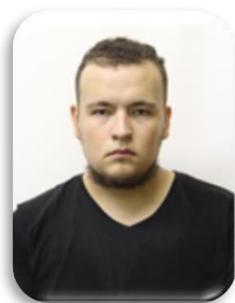
СППР представляет собой интеграцию инструментов для осуществления последовательного исполнения следующих этапов: анализ задачи, диагностика, моделирование (математическое или концептуальное), формулировка и выбор альтернативных или дополнительных вариантов решений, отвечающих поставленной проблеме, а также внедрение и мониторинг итоговой реализации.

Применение систем принятия решений предназначено не для замены руководителя или отдельных сотрудников, а для повышения качества и эффективности их работы, а также предприятия в целом. Автоматизация работы производства не всегда является основной целью внедрения подобных систем. На передний план выходит стремление к созданию гибкого хода работы, обеспечения интуитивно-понятных средств взаимодействия с системой, который позволит повысить эффективность процесса выработки решений.

Однако использование СППР иногда применяется с точки зрения исследовательского процесса, так как нет строго сформулированной цели и задачи для решения. Оператор применяет возможности системы для изучения вопросов управления предприятием, построения планов. Данная возможность обеспечивается с помощью архитектуры таких систем – модульная структура позволяет использовать новые модули для актуализации и модификации требований к системе.

Литература

1. Системы поддержки принятия решений, назначение и решаемые задачи [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://referatz.ru/works/296331/> (дата обращения: 20.12.2020).
2. СППР [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.oviont.com/soft/tools/sppr/sppr_expan.php (дата обращения: 18.12.2020).
3. Hsu W.K. et al. Risk and uncertainty analysis in the planning stages of a risk decision-making process, Vol. 61, №. 3, p. 1355-1365, Natural hazards, 2012.
4. DSS – система поддержки принятия решений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://prospo.ru/erp/1816-dss> (дата обращения: 18.12.2020).



Малый Валерий Валерьевич
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
аспирант группы №7761,
направление подготовки: 05.11.13 – Приборы и методы контроля
природной среды, веществ, материалов и изделий,
e-mail: banqvalera@mail.ru



Кинжагулов Игорь Юрьевич
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н.,
e-mail: kinzhiki@mail.ru

УДК 621.3.07

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ПРИЕМНОГО БЛОКА ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

В.В. Малый

Научный руководитель – к.т.н. И.Ю. Кинжагулов

Аннотация

В данной работе рассматриваются вопросы разработки, изготовления и экспериментальной отработки электронного блока управления автоматизированного комплекса неразрушающего контроля приемного блока гидроакустической антенны. Представлены основные принципы, подходы и требования к разработке электронного блока управления, изложены предпочтительные решения по его конструкции.

Ключевые слова

Неразрушающий контроль, ультразвуковой контроль, электронный блок управления, автоматизированный комплекс.

Одним из направлений повышения эффективности производства является внедрение автоматизированных средств неразрушающего контроля в технологический процесс изготовления изделий. Одним из таких изделий является приемный блок гидроакустической антенны (ПБГА), который представляет собой герметичную оболочку, заполненную вязким полиуретановым связующим, внутри которого находится набор гидроакустических преобразователей, на каждом этапе изготовления которого возможно образование различного рода дефектов: отсутствие адгезии, поры, расслоения и т.д. [1].

Для контроля таких дефектов предложено использовать ультразвуковой эхо-метод контроля, основанный на анализе параметров акустических импульсов, отраженных от дефектов и поверхности объекта контроля. Реализация этого метода подразумевает под собой прецизионное перемещение и позиционирование пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП), обеспечивающее необходимый угол поворота между поверхностью ПБГА и акустической осью преобразователя. Для решения этой задачи

предложено использовать автоматизированный комплект перемещения и позиционирования преобразователей (КПП), для управления которым необходим электронный блок управления (ЭБУ).

Основными техническими требованиями к создаваемому ЭБУ являются:

- современные принципы управления;
- использование современной электронной элементной базы;
- помехозащищенность;
- эргономичность;
- технологичность;
- универсальность.

Для реализации автоматизированного ультразвукового контроля ПБГА используется комплекс, в состав которой входит: автоматизированный КПП ПЭП; ЭБУ; многоканальный ультразвуковой дефектоскоп УМД-8; система обработки результатов контроля на базе ПК. Перемещение и позиционирование ПЭП реализовано на 3 шаговых двигателях, 2 абсолютных энкодерах и 3 парах концевых выключателей.

Перемещение и позиционирование КПП выполняется ЭБУ, принимающим управляющие сигналы из системы обработки результатов контроля на базе ПК. Перемещение должно происходить по трём осям: X, Y, Z.

ЭБУ обеспечивает питание двигателей в процессе работы, взаимодействие системы обработки результатов контроля и КПП, отключение двигателей КПП в случае нажатия на кнопку аварийной остановки.

Внешний вид КПП представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид комплекта позиционирования и перемещения преобразователей

В нижней части каркаса внутреннего расположено устройство фиксации и центрирования. Оно предназначено для закрепления настроечного образца, установки ПБГА, его закрепления и центрирования.

Было разработано программное обеспечение, способное провести оценку наличия или отсутствия дефектов и определить их местоположение. Контроль ПБГА осуществляется в 32 секторах (соответствует шагу сканирования 8 мм, обеспечивающему сплошной контроль). Для обеспечения стабильности акустического контакта, а также ввиду особенностей поверхности объекта контроля (ОК) используется иммерсионный способ акустического контакта. Схема контроля ПБГА представлена на рис. 2.

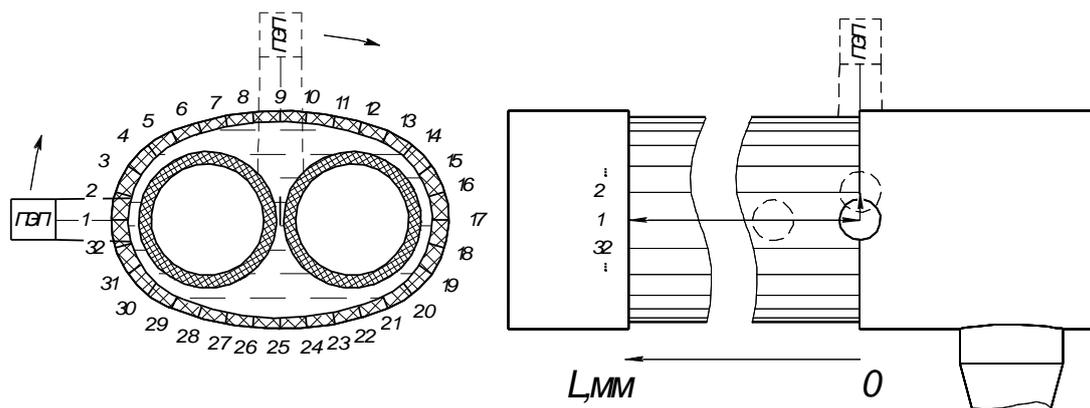


Рис. 2. Схема контроля ПБА

При проведении контроля ОК полностью погружен в воду и располагается неподвижно на пластине; ультразвуковой преобразователь, закрепленный в оснастке, перемещается относительно ОК в продольной и поперечной плоскостях. Перемещение в поперечной плоскости осуществляется по эквидистанте поверхности ОК. Перемещение преобразователя, закрепленного в специальном устройстве, осуществляется посредством шарико-винтовых передач.

Анализ объекта управления позволил обосновать использование следующей элементной базы:

- драйвер шаговых двигателей PLC440L;
- отладочная плата Nucleo F767ZI на базе микроконтроллера STM32F767ZIT6;
- блок питания +24В Traco Power TSP 360-124;
- блок питания +5В Traco Power TBL 015-105;
- устройство защитного отключения ABB FH202 AC-25/0,03;
- автоматический выключатель SCHNEIDER ELECTRIC EASY9 BA 2П 10А С 4.5кА.

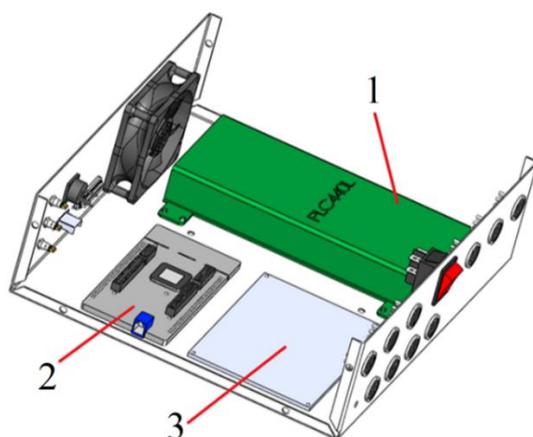
Для удовлетворения перечисленных требований, основываясь на подобранной элементной базе, были предложены следующие технические решения:

- 1) использование фильтра нижних частот для концевых выключателей, который будет отсеивать сигналы меньшей частоты, чем управляющие;
- 2) использование гальванической развязки для сигналов энкодеров, во избежание повреждения сигнальных контактов наводящими токами, а также для снижения влияния помех;
- 3) разделение ЭБУ на две составных части – блок управления (БУ) и силовой шкаф, для повышения технологичности, ремонтпригодности и исключения электромагнитных помех из сети на сигнальную часть БУ;
- 4) обеспечение в силовом шкафу легкого доступа к устройству защитного отключения и автоматическому выключателю для удобного и быстрого возврата тумблеров в начальное положение;
- 5) обеспечение в БУ экранирования силовой от сигнальной частей для уменьшения влияния электромагнитных полей силовой на сигнальную части;
- 6) размещение составляющих на одном уровне и использование разъемных соединений для повышения ремонтпригодности ЭБУ.

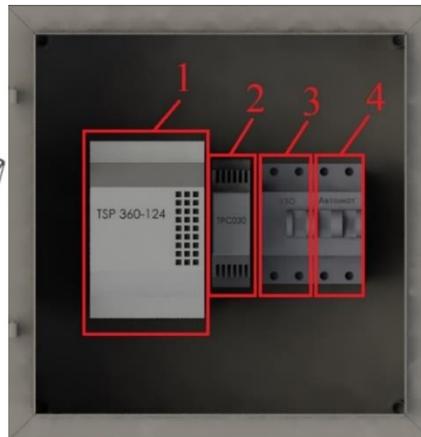
Проанализировав технические решения и подобранные структурные элементы ЭБУ, были сделаны выводы о необходимости элементного дополнения отладочной платы Nucleo F767ZI для реализации первых двух технических решений. Было принято

решение разработать в среде Altium Designer 18 электрическую схему и создать плату-дополнение, которая будет способствовать корректной работе ЭБУ.

Исходя из частных технических решений и подобранной элементной базы, был предложен следующий вариант исполнения ЭБУ. На рис. 3 представлена 3D-модель разработанного ЭБУ: блок управления (а) и силового шкафа (б).



1 – Драйвер шаговых двигателей PLC440L,
2 – Отладочная плата Nucleo F767ZI,
3 – Плата-дополнение
а) блок управления



1 – Блок питания +24В,
2 – блок питания +5 В, 3 – УЗО,
4 – дифференциальный автомат
б) силовой шкаф

Рис. 3. 3D-модель разработанного ЭБУ

Для корпуса БУ разработана конструкция, обеспечивающая базовую защиту перечисленных элементов от внешних воздействий, представленная на рисунке 3(а). Для повышения помехозащищенности сигнальной части в БУ устанавливается перфорированная алюминиевая пластина в качестве экранирующего драйвер элемента.

Также в состав ЭБУ входят: необходимые разъёмы для подключения составных частей автоматизированного комплекса, светодиоды-индикаторы работы электродвигателей, кнопка включения/выключения, пьезоизлучатель и вентилятор для активного охлаждения.

В качестве корпуса силового шкафа используется щит ЭРА ЩМП-2.3.1-0 76, который удовлетворяет всем предъявляемым требованиям.

Таким образом, достигается удовлетворение всех предъявляемых требований к разрабатываемому ЭБУ.

Испытания ЭБУ проводились в составе автоматизированного комплекса, правильная работа которого в целом означает правильную работу конкретно ЭБУ. Автоматизированный комплекс для неразрушающего контроля ПБГА представлен на рис. 4.



Рис. 4. Автоматизированный комплекс для неразрушающего контроля ПБГА

Согласно программе и методике испытаний, испытания считаются выполненными успешно, если все составные части оборудования подтвердили свою работоспособность.

Заданные требования на каждом из этапов испытаний были удовлетворены, из чего можно сделать вывод, что автоматизированный комплекс работает корректно. Из этого можно сделать вывод, что созданный ЭБУ создан верно и удовлетворяет всем заданным требованиям.

Выводы. Изготовлен опытный образец электронного блока управления. Результаты испытаний опытного образца электронного блока управления в составе автоматизированного комплекса неразрушающего контроля приемного блока гидроакустической антенны подтвердили его работоспособность и возможность его внедрения в процесс отработки технологии изготовления приемного блока, а в дальнейшем и в технологический процесс его серийного изготовления.

Литература

1. Федоров А.В. Ультразвуковой контроль качества гидроакустических антенн / Федоров А.В., Быченко В.А., Кормильцева М.Ф., Сергеев Д.С., Ткачева Н.В., Батанов К.А., Гаринков А.В. // Дефектоскопия. 2019. №2. С. 36-42.



Jaafar Mahmoud

ITMO University
Year of Birth: 1995
faculty of Control Systems and Robotics,
group №7761,
specialty: 05.02.05 – Robots, Mechatronics and Robotics systems,
e-mail: jaafar.a.mahmoud@itmo.ru



Sergey Kolyubin

ITMO University,
faculty of Control Systems and Robotics,
doctor of technical sciences, professor,
e-mail: s.kolyubin@itmo.ru

УДК 004.896

MACHINE LEARNING BASED IMAGE SEGMENTATION ALGORITHMS FOR MAPPING

J. Mahmoud

Scientific Supervisor – doctor of technical sciences, prof. S.A. Kolyubin

The work was performed within the framework of the research project №620164 «Robotics and Artificial Intelligence».

Annotation

This work states the usage Machine learning algorithms in the Mapping process for Indoors mobile robots. Machine Learning based Image Segmentation is essential for autonomous Movement to understand the objects in the surroundings. The presented solution can run in real-time using the information from RGB-D Intel Realsense Camera on GPU framework called “Nvidia AGX Xavier Development Kit”. The algorithm used is called ESANet which use Resnet as a backbone model.

Keywords

Nvidia Xavier AGX, Realsense, Segmentation, RGB-D, indoors segmentation, real-time, Resnet, U-net.

The key to make the mobile robot to act actively in any task is to provide a good vision system. What are the main characteristics for an efficient Vision System for an autonomous mobile robot? The system should provide real-time localization and mapping, robust to dynamic objects and able to understand the surrounding. The last feature is done using Image Segmentation. Segmentation refers to the process of assigning a defined label from a predefined set of classes to each pixel of an image. It is an essential data processing step for robots and other unmanned systems to understand the surrounding scene. Segmentation is not only applicable in Mobile Robots, it is used in a plenty of fields like in Medical application, autonomous driving, Satellite Image analysis, etc.

Early study of Segmentation was done by using Elementary Image processing techniques, such as Features or edge detections, and above of these one need to apply connected

components algorithm to provide segmentation and labeling for each pixel. The problem with these approaches is that the edges will not be distinguished well, and the results cannot be further used for semantic recognition. Recent techniques are done by learning features detectors using Convolutional Neural Networks. The key to provide good segmentation is to use a method to insure the consistency between label of pixels. This consistency can be done by using Random Fields, which ensures the contextual information between pixels.

Contextual Models like Markov Random Fields or Conditional Random Fields is the way of representing the image into a graph, consisting of vertices (pixels) and edges (which connect adjacent pixels).

Semantic Segmentation problem states the following: Given a set of L semantic classes and N pixels, y_i will be the semantic label of pixel i in the space of L^N . Under the assumption that all the pixels are independent and normally distributed, the posterior distribution of y can be formulated as Markov Random Fields (where x is an observation in an image) [2, 4].

$$P(y|x) \propto P(x|y).P(y) \quad , \quad P(x|y) = \prod_{i=1}^N P(x_i||y_i).$$

In Conditional Random Fields the posterior distribution is formulated using Gibbs distribution.

$$P(y|x) = \frac{1}{Z} e^{-U(y)} = \frac{1}{Z} e^{-\sum_{c \in C} \Psi(y_c|x_c)},$$

where U is the energy of one label, and Z corresponds to the sum of energies of all states. $\Psi(y_c|x_c)$ is the potential function of a region in an image containing a set of all connected pixels. The Maximum a posteriori solution can be formulated as:

$$y^* = \arg \max P(y|x) = \arg \min \sum_{c \in C} \Psi(y_c|x_c) = \arg \min E(y|x).$$

The energy types can be represented as Unary potential and pairwise potential.

$$E(y) = \sum_{i=1}^N \phi_i(y_i|x_i) + \sum_{(i,j)} \phi_{ij}(y_i, y_j |x_{ij}).$$

ϕ represents the negative log of the likelihood at pixel i . See fig. 1.

A Machine learning model consists of multiple convolutional layers, nonlinear activations, normalization steps, and pooling layers. As the depth increases along a CNN, the neurons deal with bigger amount of information. e.g., Neurons in the first layer deals with simple features in the image, while neurons in deeper layers might deal with segments of the original image. The scheme for any Segmentation model is called Encoder-Decoder (fig. 2) [3].

Encoder part is similar in architecture to a classification model, but due to losing of spatial information in the last layer, Encoders don't have a fully connected layers in their architectures. The encoder provides a tensor containing information regarding sizes and shapes of objects in an image, while the decoder produces the segmentation maps using these tensors. This architecture can lose low level information along the layers, which produce bad segmentation borders. So, skip connections are added between encoder and decoder to transfer low level information to the decoder.

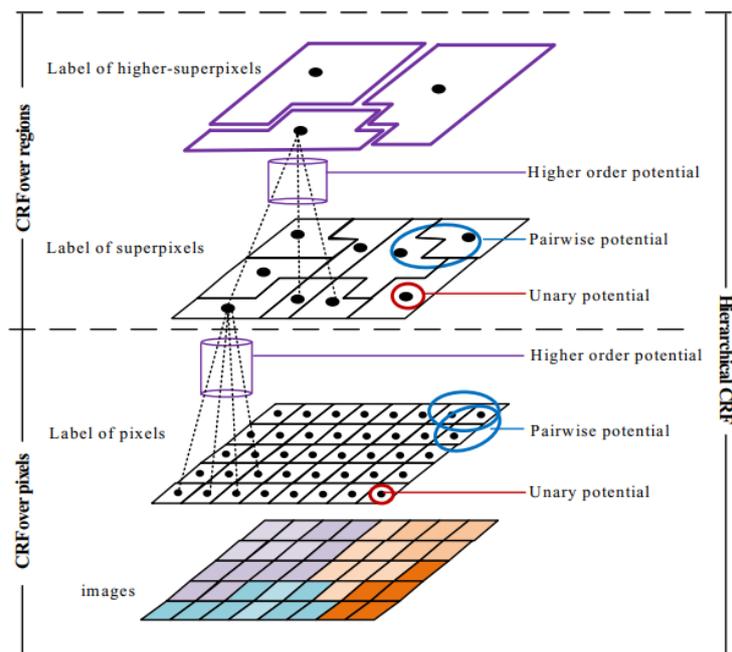


Fig 1. Representation of Unary and pairwise potential

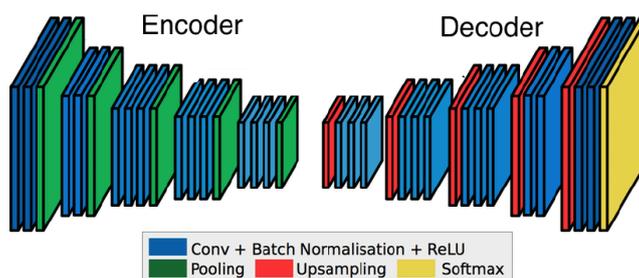


Fig 2. Encoder – Decoder architecture

The first step in building a segmentation model is to prepare the dataset. The data in segmentation tasks should consist of images, and ground truth segmentation masks. Sometimes also the depth info is provided. For each class there is a unique ID, pixels in the segmentation mask should relate to some class ID. It is known that for the segmentation masks, it is better to use **png** or **bmp** format instead of **jpg**, that might change the pixels values.

In this work, the implementation was done using an open-source library called **Image-segmentation-keras** in which UNet, FCN, SegNet and other models are included. See tabl. 1.

Table 1

Models Supported in Image Segmentation Kera

Model Name	Base Model	Segmentation Model
FCN (8,32)	Vanilla CNN	FCN8
FCN (8,32) vgg	Vgg 16	FCN 8, 32
FCN (8,32) resnet50	ResNet 50	FCN 32
FCN (8,32) mobilenet	MobileNet	FCN32
(Vgg,resnet 50) pspnet	Vanilla CNN	PSPNet
Unet (mini, resnet50, mobilenet, vgg)	Vanilla CNN, Vgg 16	UNet
Segnet (vgg,resnet50m mobilenet)	VGG 16, Vanilla CNN, ResNet 50, MobileNet	SegNet

The used model for the experiment is called ESANet [1] (Efficient RGB-D Semantic Segmentation for Indoor seen analysis). This model was chosen because it uses the color and depth information to provide segmentation. It is optimized well so that it will work fast on Nvidia cards and TensorRT. In ESANet, ResNet encoders are used. The depth information provides an additional information and provides better segmentation because it enriches the geometric information. The architecture of the module is clear in fig. 3.

The experiment was done on two parts, first testing on known indoors dataset, that provides synchronized RGB images depth and segmentation tasks. This dataset is called NYU depth v2 [4]. The model ESANet-R34-NBt1D provides a mean IOU error equal to 50.30%.

The second test, was testing on Nvidia AGX Xavier Development Kit, and using a camera Realsense D435 which provide RGB-D pairs of images. The segmentation model works in real-time speed ≈ 20 fps. And the resulting segmentation is clear in fig. 4.

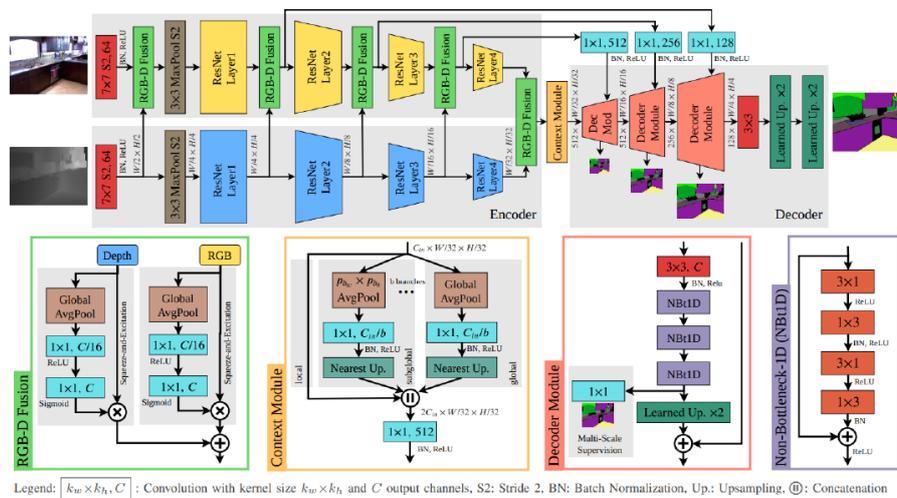


Fig 3. Overview of our proposed ESANet for efficient RGB-D segmentation (top) and specific network parts (bottom)

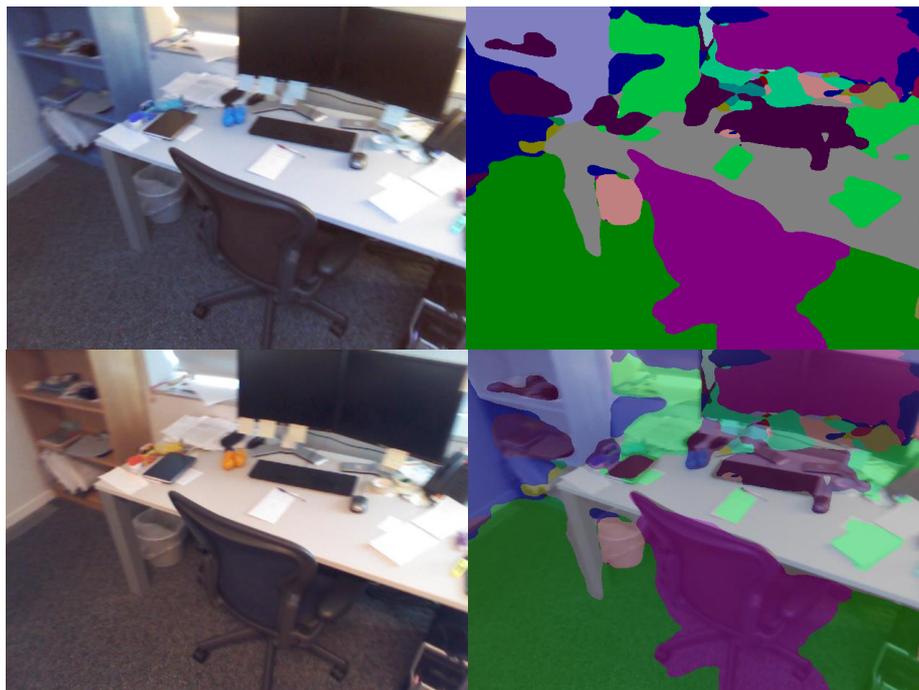


Fig 4. Segmentation Results

Reference

1. Seichter D., Köhler M., Lewandowski B., Wengefeld T., & Gross H.-M. 2020. Efficient RGB-D Semantic Segmentation for Indoor Scene Analysis.
2. Kumar S., & Hebert M. 2006. Discriminative Random Fields. *International Journal of Computer Vision*, 68.
3. Li B., Shi Y., Qi Z., & Chen Z. (2018). A Survey on Semantic Segmentation. In 2018 IEEE International Conference on Data Mining Workshops. ICDMW. pp. 1233-1240.
4. Silberman N., Hoiem D., Kohli P., & Fergus R. 2012. Indoor Segmentation and Support Inference from RGBD Images. In *Proceedings of the 12th European Conference on Computer Vision - Volume Part V*. Springer-Verlag. pp. 746–760.



Михайлов Владимир Владимирович
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы N3252,
направление подготовки: 23.03.03 – Эксплуатация
транспортно-технологических,
машин и комплексов,
e-mail: v.mihajlov2001@gmail.com

УДК 004.056.55

АНАЛИЗ И ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ШИФРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СООБЩЕНИЙ В РОЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.В. Михайлов

Аннотация

В работе рассматриваются современные методы обмена ключами и цифровой подписи, измерение скорости генерации общего ключа. Разработан протокол объединения устройств в общую сеть с закрытым каналом данных.

Ключевые слова

Алгоритм обмена ключами, эллиптические кривые, протокол Диффи-Хеллмана, рой БПЛА, RSA

Рой беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – группа летательных аппаратов без экипажа на борту, взаимодействующих между собой. Для обмена между дронами используется радиоканал, который возможно прослушать и отправить по нему заведомо ложное сообщение.

С целью обеспечения информационной безопасности необходимо осуществлять обмен информацией по закрытому каналу с использованием шифрования. Однако в данном эксперименте в группе БПЛА может присутствовать вредоносный дрон, который надо исключить из канала связи в случае его обнаружения. Поэтому заранее определённый ключ шифрования не подходит для данной модели.

Для решение поставленной задачи необходимо использовать алгоритм обмена ключами, который позволит за короткое время генерировать пары ключей. В данной работе сравнивается быстрдействие RSA и Curve25519.

RSA - криптографический алгоритм с открытым ключом, основывающийся на вычислительной сложности задачи факторизации больших целых чисел [1]. Согласно статье [2] удалось факторизовать 768-битное число. Следовательно, для обеспечения безопасности предложено использовать ключ длиной 2048 бит. Curve25519 представляет собой эллиптическую кривую, которая используется для протокола обмена ключами Диффи-Хеллмана на эллиптических кривых. Является одной из самых быстрых кривых, на которые не распространяется патентное право [3]. Данный алгоритм использует ключи длиной 256 бит.

Для сравнения скорости генерации ключей были использованы CryptoAPI для RSA и NaCl для Curve25519. Для анализа скорости было проведено по 100 экспериментов каждого алгоритма. Среднее время RSA составило 10с, тогда как среднее время Curve25519 - 0.032с. Исходя из полученных данных, выбор был сделан в пользу Curve25519.

Далее кратко излагается протокол объединения роя в одну защищённую сеть:

1. В начальный момент времени все дроны имеют открытые части цифровой подписи каждого доверенного дрона.

2. При запуске системы дроны случайным образом разбиваются на пары и обмениваются приветственными сообщениями, содержащими id дрона, количество дронов в подсети, публичную часть ключа Curve25519 и цифровую подпись.

3. Если оба дрона прошли взаимную верификацию по цифровой подписи тогда они генерируют общий ключ, одинаковый для двух дронов.

4. Далее дрон, имеющий в своей подсети большее количество дронов, шифрует ключ его подсети методом синхронного шифрования и отправляет его второму дрону.

5. Второй дрон пересылает всей своей подсети новый ключ и сбрасывает старый.

6. Далее обе подсети объединяются в одну, так как их ключи одинаковы.

7. Дальнейшее общение происходит благодаря симметричному шифрованию.

8. В случае обнаружения вредоносного дрона все участники сети исключают его подпись из списка доверенных и сбрасывают ключ шифрования. После чего действия повторяются, начиная с первого пункта

В результате работы сравнены 2 алгоритма обмена ключами и разработан протокол объединения дронов в общую сеть. В протокол предполагается использовать в реальной модели.

Литература

1. Rivest R.L., Shamir A., Adleman L. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems //Communications of the ACM. 1978. Т. 21. №. 2. С. 120-126.
2. Kleinjung T. et al. Factorization of a 768-bit RSA modulus //Annual Cryptology Conference. Springer. Berlin. Heidelberg. 2010. С. 333-350.
3. <https://cr.yp.to/ecdh/patents.html> (дата обр. 25.12.2020).



Мохаммад Раша

Год рождения: 1994
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R42951,
направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная
математика и информатика,
e-mail: rasha.ossama.mohammad@mail.ru



Попов Игорь Юрьевич

Год рождения: 1955
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
д.ф.-м.н., профессор,
e-mail: iyurov@itmo.ru

УДК 004

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПОЗВОНОЧНИКА НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ СКОЛИОЗА

Р. Мохаммад

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор И.Ю. Попов

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Робототехника и искусственный интеллект».

Аннотация

Метод математического моделирования, использовавшийся авторами в работах с целью описания эволюции трехмерной деформации позвоночного столба, продемонстрировал идентичность процессов, полученных при имитации процессов в предложенной на том этапе модели позвоночного комплекса, с реальной клинической картиной формирования сколиоза.

Мы возьмем выборку из 44 11-летних и проведем статистический анализ этих данных. выработаем на основе этого анализа какие-то рекомендации для медиков и используем результаты для верификации биомеханических моделей позвоночника.

Ключевые слова

Тела позвонков, диски, физиологического кифоза, дугами разбита, модель деформации.

В работах [1, 2] реальный позвоночный столб рассматривался в виде двухколонного образования, состоящего из:

- дорзальной (задней) колонны S, представленной спинным мозгом,
- вентральной (передней) колонны L, представленной костно-связочно-мышечным «футляром» спинного мозга.

Деформация рассматривается как результат компенсации несопряжённости продольного роста «спинного мозга» (S колонна) и его «костно-мышечного «футляра»» (L колонна), проходя в своем развитии через три этапа от «нормального» позвоночного столба до «сколиозоподобной» деформации (рис. 1). На приведённом рисунке переход А-В – это этап перехода от здорового позвоночного столба к «плоской спине».

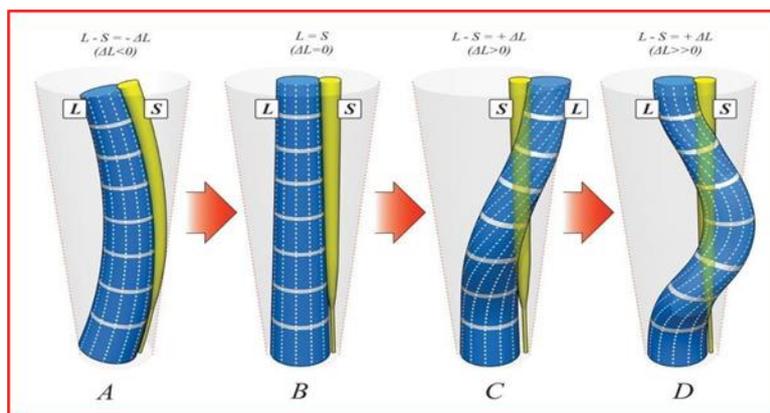


Рис. 1. Этапность формирования «сколиозоподобной» деформации из «нормального позвоночного комплекса». *A* – нормальный позвоночный столб → *B* – формирование «синдрома плоской спины» («flat back») → *C* – первичное скручивание → *D* – вторичное скручивание, завершающее формирование 3D деформации («сколиоза»)

Модель деформации

Предлагаемая математическая модель основывается на следующих положениях:

1. Рассматривается только один выпуклый дугообразный сегмент позвоночного столба и его выпрямление (таким образом, не рассматривается весь позвоночник целиком, имеющий S-образную форму), так как деформация, как правило, локализована в конкретном отделе позвоночного столба;

2. Сегмент позвоночника рассматривается в виде его проекции в сагиттальной плоскости, представленной в виде фигуры, заключённой между дугами двух концентрических окружностей (рис. 2), ограничивающих этот сегмент; разность радиусов этих окружностей совпадает с толщиной данного участка позвоночника в сагиттальной плоскости.

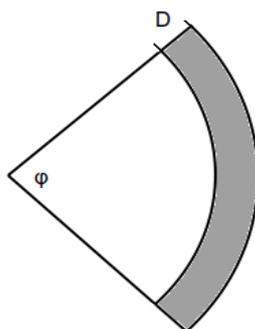


Рис. 2. Модель проекции участка позвоночника на сагиттальную плоскость

Ключевыми параметрами модели являются угол ϕ дуги участка позвоночного столба, и его толщина D (рис. 1). Длина дуги S считается постоянной. Переход к «плоской спине» заключается в выпрямлении этих двух дуг, что математически эквивалентно уходу общего центра окружностей в бесконечность; при этом угол ϕ стремится к 180° . В нормальном дугообразном состоянии длина внутренней дуги меньше длины внешней дуги; при деформации длины двух дуг становятся равны (рис. 3). Таким образом, разность длин двух дуг $\Delta L = L - S$, как и угол ϕ могут использоваться как численная характеристика, описывающая процесс деформации и позволяющая лучше понимать и прогнозировать течение этого процесса.

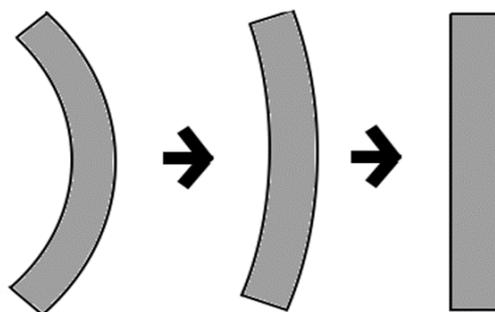


Рис. 3. Процесс деформации здорового позвоночника в плоскую спину

В этой простейшей модели разность длин дуг ΔL выражается формулой

$$\Delta L = \varphi \cdot D. \quad (1)$$

Тем не менее, эта модель слишком груба в случае, когда в деформацию вовлечена значительная часть позвоночного столба, так как она не учитывает существенные отличия в высоте и толщине (в передне-заднем направлении) позвонков различных участков позвоночного столба.

Для устранения вышеописанных дефектов модели предлагается разбить дуги на участки, соответствующие отдельным позвонкам (рис. 4). Тогда:

- каждому позвонку соответствует доля угла φ пропорционально его высоте H_k ;
- значение величины D на данном позвонке — толщина D_k позвонка в сагиттальной плоскости.

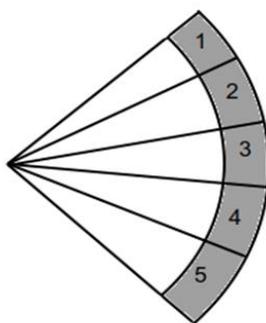


Рис. 4. Область между дугами разбита на участки, соответствующие отдельным позвонкам

Таким образом, величина разности длин ΔL может быть вычислена по формуле:

$$\Delta L = \sum \varphi_k D_k = \varphi \frac{\sum H_k D_k}{\sum H_k}. \quad (2)$$

Упрощённая модель, обсуждавшаяся выше, соответствует одинаковым высотам H_k и толщинам D_k позвонков.

Результаты

Формула (2) позволяет по углу φ и параметрам позвонков конкретного участка позвоночника вычислить разность длин дуг для этого участка. Такими участками здесь

выбраны два отдела позвоночного столба – грудной и поясничный, для которых был определён диапазон возможных значений разности длин дуг ΔL для:

- Грудного отдела: участки деформации длиной в 4, 6, 8, 10, и 12 позвонков;
- Поясничного отдела: участки деформации длиной в 4 и 5 позвонков.

Замечание: 12 и 5 позвонков – это полное количество позвонков в грудном и поясничном отделах соответственно. Кроме того, деформация практически никогда не возникает на участке, содержащем менее четырёх позвонков, что хорошо известно из данных клинической медицины.

Статистический анализ

Мы возьмем выборку из 44 11-летних и проведем статистический анализ этих данных.

Попробуем посмотреть, есть ли корреляции между различными величинами, например: корреляции между высотой тел позвонков и уменьшением/увеличением «физиологического кифоза» или между суммой «тела позвонков + диски» и изменениями «физиологического кифоза».

На уровне статистической значимости 1%:

Корреляция между высотой тел позвонка и увеличением физиологического кифоза:

- Есть средняя прямая корреляция между высотой позвонка Th2, Th3, Th4, Th5, Th6, Th7, Th9, Th10, Th11, Th12, L1 и увеличением физиологического кифоза.
- Нет корреляции между высотой позвонка C6, C7, Th1, Th8, L2, L3, L4, L5 и увеличением или уменьшением физиологического кифоза.

Корреляция между суммой «тела позвонков + диски» и увеличением физиологического кифоза:

1. Есть слабая прямая корреляция между C7_Th1, Th1_Th2, Th6_Th7, Th11_Th12, L4_L5 и увеличением физиологического кифоза.
2. Нет корреляции между Th2_Th3, Th3_Th4, Th4_Th5, Th5_Th6, Th7_Th8, Th8_Th9, Th9_Th10, Th10_Th11, Th12_L1, L1_L2, L2_L3, L3_L4, L5_S1 и увеличением или уменьшением физиологического кифоза.

Выводы

Высота тел позвонков по направлению от шейных к поясничным постепенно увеличивается.

Высота межпозвоночных дисков по направлению от шейных к поясничным также постепенно увеличивается.

Крестцовый кифоз более резко выражен, являясь более «крутым» по сравнению с грудным кифозом.

Это, как раз-таки, и объясняется увеличением высоты дисков и позвонков по направлению сверху вниз.

Чем крупнее позвонок, тем заметнее становится его смещение, тем под более острым углом он повернут к другим позвонкам.

Литература

1. Дудин М.Г., Синицкий Ю.Ф. О механизме торсионных изменений при сколиозе, Ортопедия травматология и протезирование.1981. №2. с. 33-36.
2. Дудин М.Г., Балашин Ю.А., Бобер С.В., Поморцев И.Ю., Математическое моделирование трехплоскостной деформации позвоночного столба человека, Российский журнал биомеханики. 2016. Т. 20, № 3. с. 272–282.



Муратова Ульяна Дмитриевна

Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группы №Р42142,
направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия,
e-mail: ulyafka.muratova@mail.ru



Бурым Никита Сергеевич

Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
аспирант,
направление подготовки: 09.06.01 – Информатика
и вычислительная техника,
e-mail: CHVRCHES@mail.ru

Балакшин Павел Валерьевич

Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
к.т.н., доцент,
e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.04

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАТ-БОТА**

У.Д. Муратова, Н.С. Бурым

Научный руководитель – к.т.н., доцент П.В. Балакшин

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

В работе рассмотрен набор библиотек RAPIDS от компании NVIDIA, позволяющий ускорять процесс анализа и обработки данных, в том числе промышленных, за счет выполнения вычислений на графических процессорах. Проведен эксперимент, показывающий преимущество данной технологии перед классическими решениями. Эксперимент проводился с применением стенда на базе процессоров NVIDIA GP102.

Ключевые слова

Чат-боты, разработка, прототип, нейронные сети, тестирование.

На протяжении многих лет не прекращаются изучение и разработка различных чат-ботов, голосовых ассистентов и технологий, связанных с ними. Одним из таких исследований является данная работа, изучающая различные трудности, которые могут возникнуть при создании собственного чат-бота. На данный момент разработан прототип чат-бота, способный воспринимать запросы пользователя как по его голосу (с

помощью модуля распознавания речи), так и по тексту, который этот пользователь вводит. Однако на данный момент возникла следующая проблема: человек один вопрос задает различными способами и хочет увидеть разнообразные ответы. Для реализации соответствующей функциональности требуется встроить в прототип нейронную сеть.

Поэтому *целью* данной работы является встраивание выбранной на предыдущем этапе исследования нейронной сети в прототип чат-бота.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

1. Разработать приложение, взаимодействующее с готовой нейронной сетью.
2. Подготовить тестовую документацию.
3. Провести тестирование.
4. По результатам тестирования сделать выводы.

Создание приложения

В связи с тем, что разработка собственной нейронной сети является объектом отдельного исследования, было решено сделать выбор в пользу готовой нейронной сети DeepPavlov [1] по нескольким причинам – она способна работать с русским языком, обладает способностью подготавливать текст перед непосредственной работой с нейронной сетью (то есть встроены модуль NLP), эту нейросеть можно встроить в собственный проект.

Благодаря тому, что часть прототипа на данный момент была уже разработана, было необходимо развернуть готовую нейронную сеть отдельно на сервере, а также встроить в приложение функцию, которая будет позволять пересылать сообщения на сервер. Пример работы прототипа сразу после встраивания нейросети представлен на рис. 1.

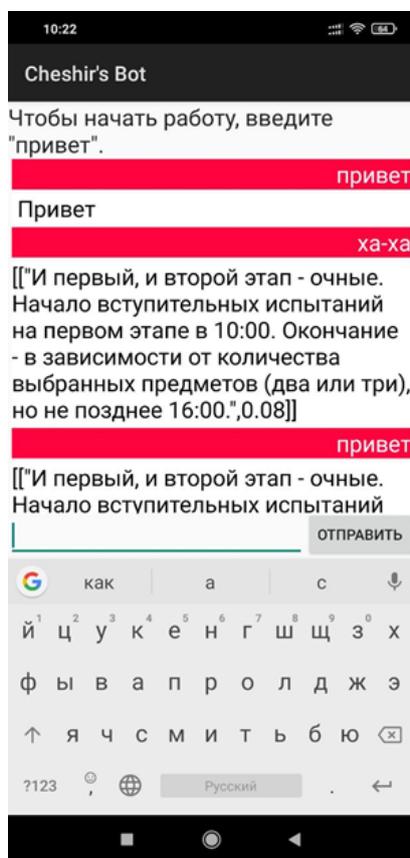


Рис. 1. Пример работы прототипа чат-бота

Разработка тестовой документации

Для тестирования приложения необходимо было подготовить два документа – тест-план и чек-лист. В качестве макета тест-плана был выбран шаблон из методологии разработки программного обеспечения RUP (англ. Rational Unified Process) [2], так как этот шаблон позволяет наиболее полно и со всех сторон описать предстоящий процесс тестирования.

На основе полученного тест-плана был разработан чек-лист, содержащий различные функциональные и нефункциональные тесты. Этот чек-лист позволяет проверять основную функциональность, а также в дальнейшем проводить регрессионное тестирование. Один из тестов представлен на рис. 2 в качестве примера.

Название теста	1. Запуск приложения
Предусловия	Разблокированный телефон с успешно установленным приложением.
Описание шагов	1. Найти иконку приложения  «Cheshir's bot» 2. Нажать один раз на иконку. 3. Подождать 1 минуту.
Ожидаемый результат	Запускается прототип бота, под названием приложения сразу после запуска отображается фраза «Подготовка распознавателя», через некоторое время заменяется фразой «Чтобы начать работу, введите “привет”».
Результат прохождения теста	Passed
Комментарии	

Рис. 2. Пример теста

Тестирование приложения

Тестирование приложения представляет собой прохождение чек-листа и выполнение сценариев, описанных в этом документе, с последующим указанием результатов тестов, необходимых комментариев, возможных вариантов решения возникших ошибок. Все результаты прохождения указывались для каждого теста в отдельности (поле «Результат прохождения теста» на рис.2), все найденные ошибки или идеи для улучшения вписывались в поле «Комментарии».

Коррекция приложения

На основании анализа полученных результатов тестирования можно сделать вывод, что требуется переобучить нейронную сеть. Это позволит получать более корректные ответы, соответствующие запросу пользователя. Реализация данной задачи на текущем этапе не представляется возможной, так как требует объемной работы и дополнительных исследований: необходимо подготовить данные для обучения достаточно больших размеров на русском языке (желательно несколько файлов размером более 1 ГБ), изучить процесс обучения модели и обучить подходящую модель, что занимает достаточно большой объем времени.

Заключение

В результате был разработан прототип чат-бота, дополненный нейронной сетью, а также вспомогательные документы для проведения тестирования. Проведенное первичное тестирование показало, что необходимо дополнительное исследование в области нейронных сетей, самостоятельное обучение используемой модели, подбор подходящих для этого дата-сетов.

Литература

1. DeepPavlov. An open source conversational AI framework [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://deerpavlov.ai/> (дата обращения: 23.12.2019).
2. Rational Unified Process: Overview [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scweb.uhcl.edu/helm/RationalUnifiedProcess/> (дата обращения: 08.01.2020).



Мыськив Иван Иванович

Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №42526с,
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная
безопасность,
e-mail: Myskiv.i@itmo.ru



Заколдаев Данил Анатольевич

Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент, декан,
e-mail: d.zakoldaev@itmo.ru

УДК 004.056

**ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ЦИФРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ИНДУСТРИИ 4.0.**

И.И. Мыськив

Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.А. Заколдаев

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

В данной статье рассматривается Цифровое предприятие Индустрии 4.0 с описанием основных функционирующих на предприятии систем, рассмотрена информационная безопасность Цифрового предприятия, выделены основные источники и векторы угроз на систему Цифровых предприятий, также представлена графовая модель Цифрового предприятия.

Ключевые слова

Цифровое предприятие, КФС, индустрия 4.0, система, компонент, угрозы, информационная безопасность.

Развитие научно-технического прогресса в области проектирования и производства конечного продукта в части технологического процесса обеспечивает появление нового подхода в организации технологических процессов, направленных на изготовление и разработку необходимого продукта. Такой подход сейчас известен как Индустрия 4.0. Данный подход включает в себя развитие и внедрения передовых технических решений, таких как [1]:

- киберфизических систем (далее – КФС);
- промышленный интернет вещей;
- виртуализации и облачные технологии;
- технологии BigData, 3-D модели, Digital Twins или «Цифровые двойники».

Интеграция таких решений в единую систему технологического производства позволяет использовать алгоритм бесшовного технологического процесса автоматизированного изготовления изделий на Цифровом предприятии (далее – ЦПИ).

Использование большого числа таких сложных гетерогенных распределенных информационных систем и взаимодействию их с физическим миром, значительно увеличивает риски, угрозы и вектора атак на цифровое предприятие, а успешная реализация деструктивных воздействий, направленных на нарушение целостности и доступности функционирующих систем, способна привести не только к экономическому ущербу, но также к техногенным и экологическим катастрофам.

Тем самым предприятия такого типа будут являться объектами критической информационной инфраструктуры и обязаны выполнять все требования Федерального закона №187 «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации от 26 июля 2017 года» и других нормативно-методических документов Российской Федерации по защите КИИ, что говорит о важности и необходимости в обеспечении информационной и функциональной безопасности предприятий подобного типа.

Основную архитектуру ЦПИ описывают следующие компоненты [2]:

- производственное автоматическое оборудование, выполняющие набор заданных технологических операций и взаимодействующее с физическим окружением;
- производственная линия, представляющая собой совокупность производственного автоматического оборудования, реализующего технологические операции;
- транспортная система, обеспечивающая перемещение деталей, заготовок между производственными линиями;
- производственный участок, объединяющий набор производственных линий и транспортную систему, реализующих непрерывный (бесшовный и круглосуточный) технологический цикл изготовления конечного продукта или его части;
- система складского хранения, обеспечивающая учет и контроль движения комплектующих, готовых продуктов и компонентов ЦПИ;
- производственный цех, объединяющий набор производственных участков, транспортную систему и систему складского хранения и функционирующий под управлением системы управления производством (трёхуровневая архитектура управления);

Управление оборудованием производственного участка (цеха) осуществляет сервер(а), контролирующий серверы управления производственными линиями.

Серверы управления производственными линиями осуществляют управление непосредственно технологическим оборудованием.

Верхний уровень системы управления составляет сервер(а) ЦПИ, осуществляющий информационный обмен с серверами управления производственными участками (цехами).

Система управления ЦПИ обеспечивает:

- сквозную интеграцию цифровых производственных процессов предприятия;
- вертикальную и горизонтальную интеграцию технологических процессов производственного предприятия.

Архитектурная схема рассматриваемого ЦПИ представлена на рис. 1.

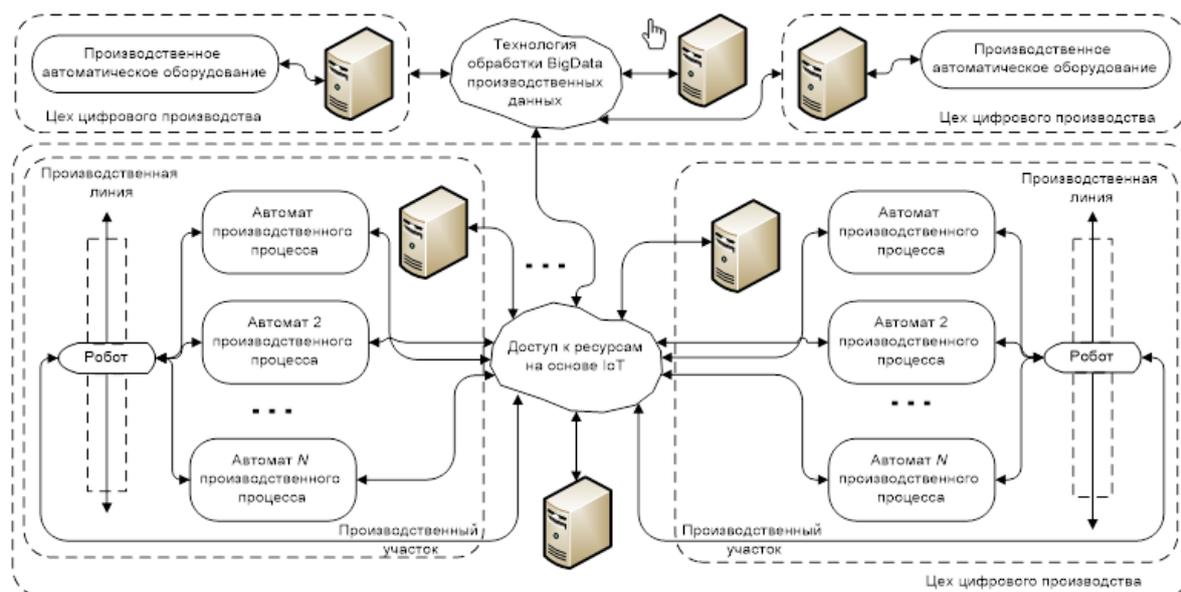


Рис. 1. Архитектура цифрового предприятия

Данную архитектуру предприятия ЦПИ можно представить в виде ориентированного графа $G = \langle W, V, R \rangle$, множество вершин графа $W = \langle w_1, \dots, w_z \rangle$, описывающие множество компонентов ЦПИ, множество дуг $V = \langle v_1, \dots, v_x \rangle$, описывающие связи между компонентами. R – множество маршрутов графа G , описывающие определённые пути из вершины w_i в вершину w_j .

Каждый компонент может описываться набором характеристик $\langle ID, T, P_{w_i}, F_{w_i}, INF_{w_i}, NF_{w_i}, TO_{w_i} \rangle$, где ID – идентификатор компонента, T – тип компонента (робот-манипулятор, сенсор, датчик, маршрутизатор и др.), $F_{w_i} = \langle f_{w_i(0)}, f_{w_i(2)}, f_{w_i(k)} \rangle$ – набор функций, который может реализовать данный компонент, $P_{w_i} = \langle p_{w_i(0)}, p_{w_i(2)}, p_{w_i(k)} \rangle$ – набор параметров компонента, INF_{w_i} – множество информации компонента, которые он накапливает в процессе взаимодействия. Данная информация может быть получена как от самого компонента, так и от информационного взаимодействия с другими компонентами, поэтому её можно разделить на активную и пассивную. NF_{w_i} – количество процессов, в которых может быть задействован данный компонент. TO_{w_i} – в соответствии с эксплуатационной документацией на компонент ему присваивается характеристика проектно-плановых работ на проверку его работоспособности (проверка компонента в установленные документацией сроки его эксплуатации), если проектно-плановые работы не проводились в определяемые сроки эксплуатационной документацией, то доверие к информации передаваемым данным компонентом будет снижено.

Каждый компонент может выполнять следующие базовые функции:

- вычислительные – функции, которые позволяют выработать определённый алгоритм действий для выполнения производственной задачи.
- исполнительные – функции, которые позволяют выполнить определённую производственную задачу на ранее разработанном алгоритме вычислительной функции.

В рассматриваемой модели можно представить следующим образом $w_i = w_i^{inf} \cup w_i^{phys}$, где w_i^{inf} вычислительные устройства компонента, w_i^{phys} – физические устройства компонента. Графовая модель представлена на рис. 2.

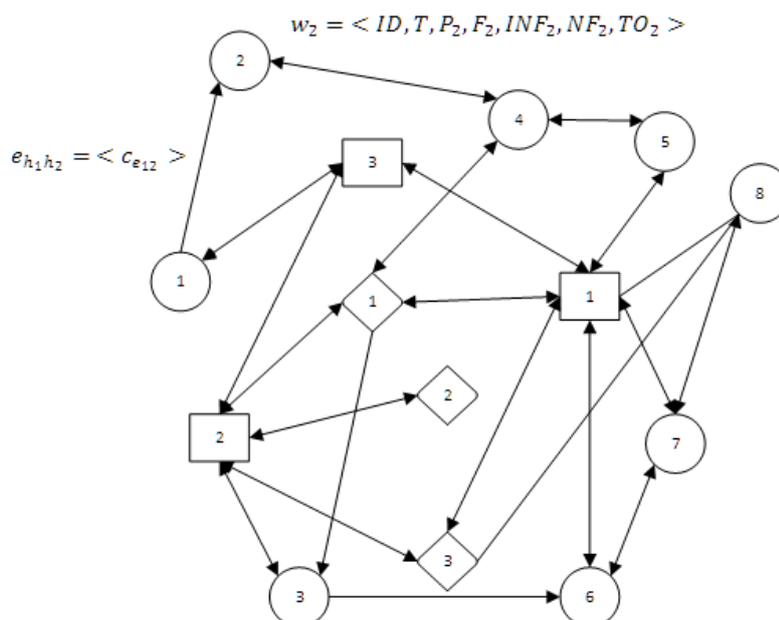


Рис. 1. Графовое представление компонентов предприятия

Исходя из архитектуры и используемых технологий, можно выделить основные векторы угроз на системы ЦПИ [3]:

1. Возможность воздействия на физические устройства КФС (Сенсоры, программируемые-логические контроллеры, датчики, роботы-манипуляторы).
2. Возможность воздействия на систему управления производством (Сервера автоматизированных систем управления технологическим процессом (далее – АСУ ТП), маршрутизаторы, сервера обработки и анализа данных).
3. Возможность воздействия на подсистему взаимодействия с пользователем (Человеко-машинные интерфейсы, автоматизированные рабочие места, Digital Twins).
4. Возможность воздействия на протоколы, использующиеся для взаимодействия АСУ ТП и КФС (ZigBee, NB-IoT, Thread, Modbus и др.).

Под источником угрозы безопасности информации понимается субъект (нарушитель), который может реализовать угрозу безопасности информации.

Можно выделить типы возможных нарушителей:

1. Субъект, не имеющий права доступа к системам ЦПИ и отдельным компонентам.
2. Субъект, имеющий право постоянного или разового доступа к системам ЦПИ или отдельным компонентам.

Также можно выделить нарушителей с учетом возможности проведения атак в соответствии с нахождением относительно границ контролируемой зоны (далее –КЗ) ЦПИ:

- внешних нарушителей, осуществляющих атаки из-за пределов КЗ;
- внутренних нарушителей, осуществляющих атаки при нахождении в пределах КЗ.

На основании данного разделения можно описать типового нарушителя, представленного в таблице.

Результатом работы стало описание функционирующих систем типового цифрового предприятия и его архитектура, на основе которого была представлена графовая модель, также были описаны основные векторы угроз и пример нарушителя.

Пример нарушителя

«Хакер»	
Тип нарушителя	Внешний нарушитель, не имеющий санкционированного доступа к функционирующим системам и на территорию ЦПИ
Примеры нарушителей	– нарушители-любители – профессиональные или наемные хакеры
Мотивация	Высокая мотивация: – личный интерес к проведению атак на системы; – финансовая мотивация, найм иными структурами; – идеологические или политические мотивы
Логический доступ	Имеет доступ к внешним общедоступным информационным ресурсам
Физический доступ	Не имеет возможности физического доступа к функционирующим системам
Квалификация	Очень высокая квалификация, нарушитель обладает: – высоким уровнем знаний в области информационных технологий; – сведениями о возможных системах защиты ЦПИ; – данными о потенциальных уязвимостях функционирующих систем и способах атак; – информацией о возможных и существующих способах (методах) реализации атак; – знаниями в области программирования и вычислительной техники
Знания о функционирующих системах	Изначально не имеет информации об функционирующих системах, её компонентах и способах обработки информации и может вести информационную разведку или получать информацию в рамках общедоступных источников
Возможности	1. Обладает возможностью использования любыми общедоступными средствами, а также специализированными программными и/или программно-аппаратными средствами проникновения и обладает необходимой квалификацией для их использования. 2. Имеет возможность неконтролируемого доступа к внешним общедоступным информационным ресурсам. 3. Имеет возможность получать дополнительную информацию с помощью методов социальной инженерии.

Дальнейшей работой станет разработка модели защищенного взаимодействия компонентов цифрового предприятия и разработка модели атак в зависимости от типа нарушителя на основе графовой модели.

Литература

1. Jung K., Choi S.S., Kulvatunyou B., Cho H., Morris K.S. A reference activity model for smart factory design and improvement // Production Planning and Control. 2017. V. 28. N 2. P. 108–122. doi: 10.1080/09537287.2016.1237686.
2. Гурьянов А.В., Заколдаев Д.А., Жаринов И.О., Нечаев В.А. Принципы организации цифровых проектных и производственных предприятий Индустрии 4.0 // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 3. С. 421–427. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-421-427.
3. Зегжда Д.П., Павленко Е.Ю. Гомеостатическая стратегия безопасности киберфизических систем / Зегжда Д.П., Павленко Е.Ю. // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2017. № 3. С. 9–23.



Насонов Кирилл Вячеславович
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы №R41333с,
направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника,
e-mail: kvnasonov@itmo.ru



Борисов Иван Игоревич
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., ассистент,
e-mail: borisovii@itmo.ru

УДК 62-231

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБКОГО СОЧЛЕНЕНИЯ В ВИДЕ ПСЕВДО-ТВЕРДОГО ТЕЛА ДЛЯ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА К.В. Насонов

Научный руководитель – к.т.н., ассистент И.И. Борисов

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

В работе рассмотрен метод проектирования гибкого сочленения для рычажного механизма. Податливый элемент описан моделью псевдо-твердого тела. Проведен расчет жесткости сочленения, изготовлен и собран экспериментальный стенд. Выявлены недостатки данного метода описания и определена область дальнейшего исследования.

Ключевые слова

Гибкие сочленения, податливые механизмы, модель псевдо-твердого тела, галопирующий робот, энергоэффективность.

Мотивацией к исследованию данной тематики послужило изучение конструкций биоинспирированных ног галопирующих роботов. Исследование направлено на повышение энергоэффективности прототипа, разработанного в лаборатории «Биомехатроники и энергоэффективной робототехники» [1]. У имеющегося прототипа центр масс смещен ниже, чем требуется. Это вызывает такой нежелательный эффект, как увеличенная инерционность. Следует модернизировать конструкцию так, чтобы центр масс был смещен ближе к центру редуктора. Добиться этого можно уменьшением массы ноги. Для этого было предложено рассмотреть возможность замены шарниров с осями и подшипниками на гибкие сочленения. На рис. 1 представлена искомая конструкция. Кругами выделены узлы, которые следует заменить на гибкие сочленения.

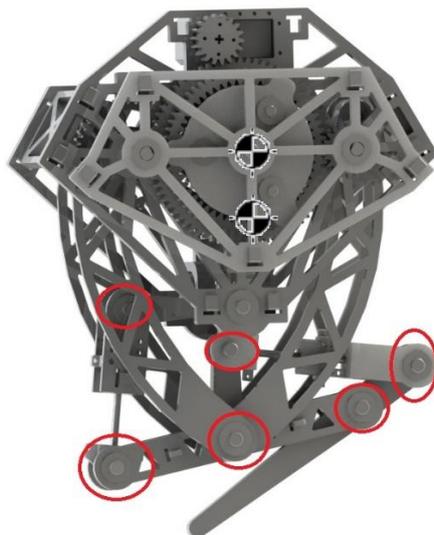


Рис. 1. Конструкция ноги галопирующего робота

В труде [2] приведены основные принципы построения таких механизмов, проиллюстрированы примеры исполнения для разного рода сочленений. Идея податливых механизмов состоит в том, что кинематическая пара заменяется гибким сочленением, которое, например, может представлять собой эластичный пруток с эллипсоидным сечением. Важным преимуществом гибких элементов является то, что узлы механизма не испытывают трения и люфты. На рис. 2 представлены вращательная кинематическая пара и аналогичное ей податливое сочленение.

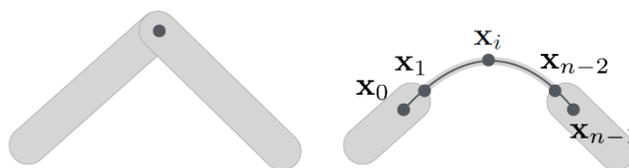


Рис. 2. Вращательная кинематическая пара и податливое сочленение

Одним из методов синтеза податливых механизмов является описание с помощью модели псевдо-твердых тел (Pseudo – Rigid Body Model) [2]. Модель псевдо-твердых тел позволяет представить податливый механизм как связь между твердыми деталями и гибкими шарнирами. Гибкие шарниры в таком случае моделируются как пружины кручения с определенной жесткостью. Пример модели псевдо-твердого тела для вращательной кинематической пары приведен на рис. 3.

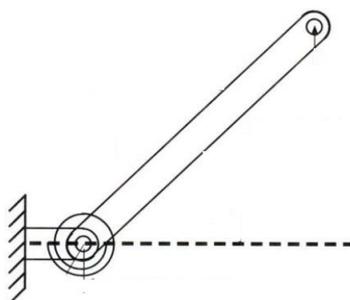


Рис. 3. Модель псевдо – твердого тела для вращательной кинематической пары

Сечения и форма шарниров могут быть различными. Основные типы приведены в работе [3]. На рис. 4 представлен пример гибкого шарнира Circular Notch Hinge с основными параметрами, от величины которых зависит значение жесткости.

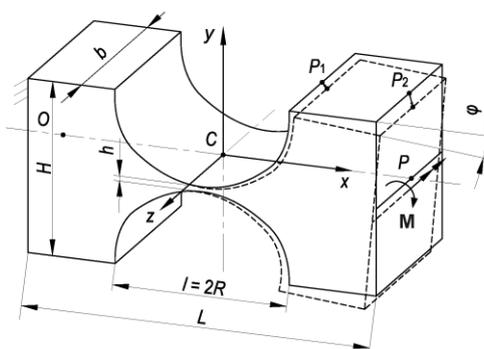


Рис. 4. Гибкий шарнир circular notch hinge

Жесткость сочленения такого типа рассчитывается по формуле (1):

$$K = \frac{2 \cdot E \cdot b \cdot h^{\frac{5}{2}}}{9 \cdot \pi \cdot \sqrt{R}}, \quad (1)$$

где E – модуль Юнга материала, из которого изготовлено сочленение.

Для тестирования сочленений такого типа было предложено спроектировать стенд рычажного шестизвенного механизма, в котором один из шарниров заменен на гибкий элемент. Механизм описывался моделью псевдо-твердого тела.

На рис.5 приведена CAD-модель исследуемого стенда, спроектированного в САПР SolidWorks.

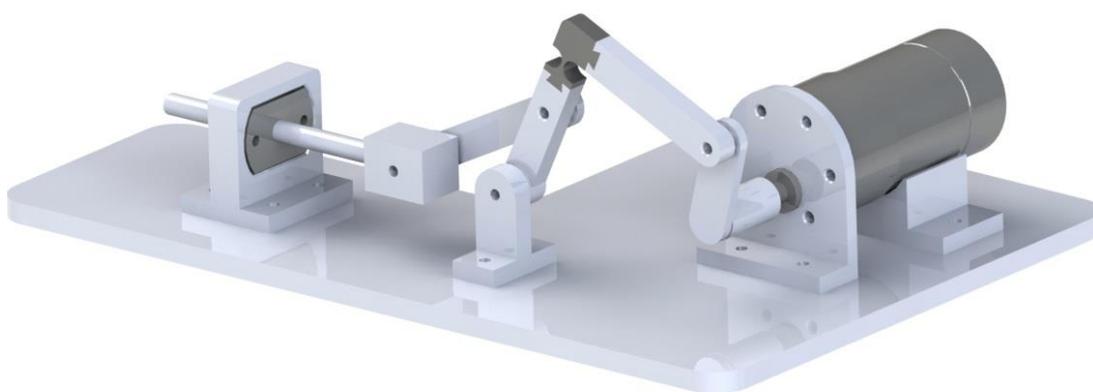


Рис. 5. CAD – модель стенда рычажного механизма

Гибкий шарнир был спроектирован со следующими размерами: $R = 3$ мм, $h = 1$ мм, $b = 7$ мм, $E = 50$ МПа. В качестве материала был выбран VFlex. Согласно расчетам по формуле (1), жесткость сочленения равна $K = 0.0143$ Н·м/рад.

Стенд был изготовлен при помощи 3D печати. Фотография собранного стенда изображена на рис. 6.

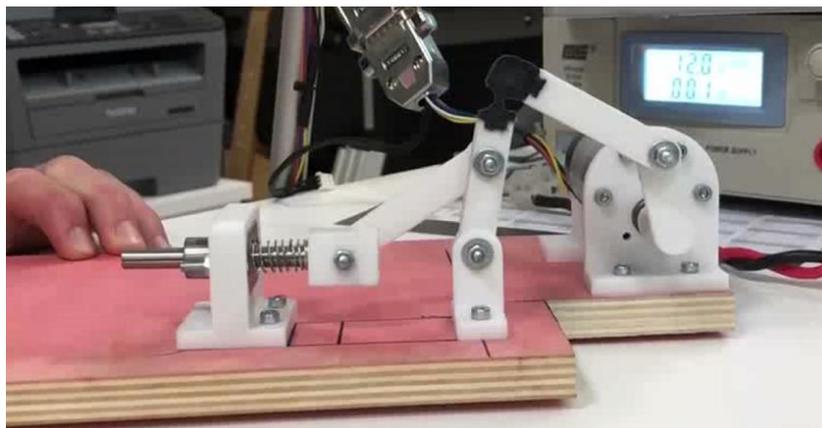


Рис. 6. Фотография собранного стенда шестизвенного механизма

Стенд работал с нагрузкой, которая задавалась с помощью установки пружин сжатия различной жесткости. Во время работы стенда наблюдалось нежелательное поведение гибкого сочленения. В процессе увеличения угла отклонения при движении под нагрузкой происходило отклонение шарнира в поперечном направлении.

При дальнейшем изучении гибких сочленений такого типа был выявлен ряд недостатков. Описание механизма при помощи модели псевдо-твердого тела не позволяет проанализировать характер движения и жесткость гибкого сочленения в других направлениях. Невозможно получить точные модели, которые позволили бы настроить углы отклонения шарниров и их жесткость. Возникает сложный баланс между кинематическими ошибками и жесткостью сочленений [4].

В качестве альтернативного подхода коллегами из университета Твенте было предложено рассмотреть сочленения, изготовленные из листовых элементов (пружин). Они являются более функциональными и имеют больший диапазон углов вращения. В трудах [5] приведен пример синтеза структурно сложного сочленения из листовых пружин с использованием метода Building block topology. Для проектирования таких механизмов рекомендуется использовать оптимизационный инструмент SPACAR для MATLAB, позволяющий задать форму и тип сочленения и провести оптимизацию размеров в зависимости от условий работы. Пример сочленения, спроектированного из листовых элементов, представлен на рис. 7.

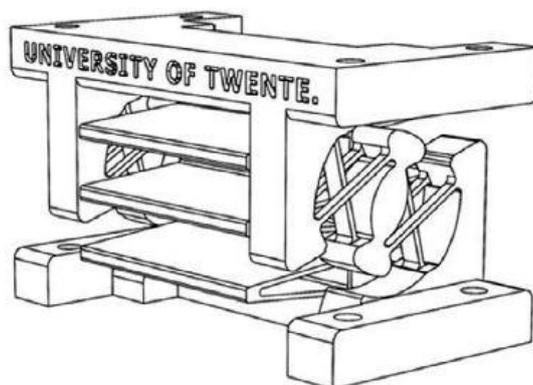


Рис. 7. Гибкое сочленение из листовых пружин

В ходе выполнения работы были изучены основы проектирования гибких сочленений и описание податливых механизмов при помощи модели псевдо-твердого тела. Был спроектирован гибкий шарнир для стенда шестизвенного рычажного

механизма. Стенд был изготовлен и протестирован при работе под нагрузкой. В процессе дальнейшего изучения материалов и наблюдением за работой стенда был выявлен ряд недостатков модели псевдо-твёрдого тела и сочленений типа Circular cross hinge.

В дальнейшем планируется изучить принципы работы в инструменте SPACAR, а также изучить метод Building block topology для проектирования сложных гибких сочленений, спроектированных при помощи листовых пружин.

Литература

1. Борисов И.И. Разработка адаптивных манипуляционных и энергоэффективных локомоционных роботов. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Университет ИТМО, Санкт-Петербург. 2019.
2. Howell L.L. and Midha A. A Method for the Design of Compliant Mechanisms With Small-Length Flexural Pivots. ASME. J. Mech. Des. 116, 1. 1994., с. 280–290.
3. Farhadi D., Tolou N., Herder J.L. A Review on Compliant Joints and Rigid-Body Constant Velocity Universal Joints Toward the Design of Compliant Homokinetic Couplings. 2015 Journal of Mechanical Design 137(3):032301.
4. Dwarshuis K., Aarts R. and Ellenbroek M. et al., Kinematically started efficient position analysis of deformed compliant mechanisms utilizing data of standard joints, Mechanism and Machine Theory, <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.103911>.
5. Fix M.E., Brouwer D.M., & Aarts R.G.K.M. 2020. Building block based topology synthesis algorithm to optimize the natural frequency in large stroke flexure mechanisms. In Proceedings of the ASME 2020 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE2020 ASME Digital Collection. <https://doi.org/10.1115/DETC2020-22393>.



Нгуен Хак Тунг

Год рождения: 1994
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехник,
аспирант группы № 7761,
направление подготовки: 27.06.01 – Управление в технических системах,
g-mail: nguyengkactunghvhq1994@gmail.com



Власов Сергей Михайлович

Год рождения: 1990
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехник,
к.т.н.,
e-mail: smvlasov@itmo.ru

УДК 681.51

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ НАВОДНОГО
СУДНА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО
РАСШИРЕНИЯ РЕГРЕССОРА И СМЕЩЕНИЯ**

**Нгуен Хак Тунг, С.М. Власов
Научный руководитель – к.т.н. С.М. Власов**

Аннотация

Разработан алгоритм идентификации параметров модели наводного судна на основе метода динамического расширения и смещения регрессора. Применяются линейные фильтры и строится линейная регрессионная модель, содержащая измеряемые сигналы и постоянный вектор, зависящий от неизвестных параметров. Для векторной модели регрессии используется метод динамического расширения и смешивания регрессора, позволяющий синтезировать независимые регрессионные модели первого порядка. Затем, независимо друг от друга, строятся оценки неизвестных параметров регрессионных моделей методом стандартного градиентного спуска.

Ключевые слова

Параметрическая идентификация, наводное судно, регрессор, Номото, модель судна.

Постановка задачи

Модель надводного судна в процессе решения задачи управления курсом при упрощающих допущениях может быть представлена в виде следующих дифференциальных уравнений [1-3]:

$$\ddot{\psi} + \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)\dot{\psi} + \frac{1}{T_1 T_2}\psi = \frac{K_R}{T_1 T_2}(T_3 \dot{\delta}_R + \delta_R), \quad (1)$$

где: δ - угол поворота пера руля [град], ψ - угол курса [град], K_R , T_1 , T_2 , T_3 - коэффициент.

Приведенные дифференциальные уравнения представляют собой простейшую модель, известную как модель Номото 2-ого порядка [2]. Соответствующая ей передаточная функция имеет вид

$$\frac{\psi(s)}{\delta(s)} = \frac{K_R(1+T_3s)}{s(1+T_1s)(1+T_2s)} = \frac{\beta_1s+\beta_2}{s(s^2+\alpha_1s+\alpha_2)}, \quad (2)$$

где

$$\beta_1 = \frac{T_3K_R}{T_1T_2}, \beta_2 = \frac{K_R}{T_1T_2}, \alpha_1 = \frac{T_1+T_2}{T_1T_2}, \alpha_2 = \frac{1}{T_1T_2}.$$

Перепишем (2) в виде

$$s^3\psi(s) = -s^2\alpha_1\psi - s\alpha_2\psi + s\beta_1\delta + \beta_2\delta. \quad (3)$$

Введем линейный фильтр третьего порядка с характеристическим полиномом $\Lambda = \frac{\lambda^3}{(s+\lambda)^3}$, для стороны левой и правой части (3) имеем

$$\frac{\lambda^3s^3}{(s+\lambda)^3}\psi = \frac{-s^2\lambda^3\alpha_1}{(s+\lambda)^3}\psi + \frac{-s\lambda^3\alpha_2}{(s+\lambda)^3}\psi + \frac{s\lambda^3\beta_1}{(s+\lambda)^3}\delta + \frac{\lambda^3\beta_2}{(s+\lambda)^3}\delta. \quad (4)$$

На основе выражения (4) получим регрессионную модель

$$y_f = m^T\theta, \quad (5)$$

где

$$y_f = \frac{\lambda^3s^3}{(s+\lambda)^3}\psi,$$

$$m = \left[\frac{-\lambda^3s^2}{(s+\lambda)^3}\psi \quad \frac{-s\lambda^3}{(s+\lambda)^3}\psi \quad \frac{s\lambda^3}{(s+\lambda)^3}\delta \quad \frac{\lambda^3}{(s+\lambda)^3}\delta \right] = [m_{11} \quad m_{12} \quad m_{13} \quad m_{14}],$$

$$\theta^T = [\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \beta_1 \quad \beta_2]^T = [\theta_1 \quad \theta_2 \quad \theta_3 \quad \theta_4]^T.$$

Идентификация параметров

Предложение: Оценка параметров на основе градиентного метода имеет вид:

$$\dot{\hat{\theta}} = Km(y_f - m^T\hat{\theta}). \quad (6)$$

Она обеспечивает экспоненциальную сходимость ошибки оценивания $\tilde{\theta}(t) = \hat{\theta}(t) - \theta$ к нулю.

Метод динамического расширения регрессора и смешивания

Первым шагом алгоритма DREM в этом случае выберем три различных устойчивых линейных фильтра[3]:

$$y_{1f} = \frac{\alpha_1}{p+\alpha_1}y_f = \frac{\alpha_1}{p+\alpha_1}m^T\theta = m_1^T\theta,$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - положительные постоянные числа, $\alpha_i \neq 0$, $p: = \frac{d}{dt}$.

Обозначим:

$$Y_e = M_e \theta, \quad (8)$$

где

$$Y_e = \begin{bmatrix} y_f \\ y_{1f} \\ y_{2f} \\ y_{3f} \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^4 \text{ Умножая (8) на } adj\{M_e\} \text{ (т. е. союзную матрицу для } M_e \text{), получаем:}$$

$$Y(t) = \Delta(t)\theta, \quad (9)$$

где $\Delta = det\{M_e\} \in \mathbb{R}^1$ - определитель матрицы M_e , $Y = adj\{M_e\}Y_e$, $i = 1, 2, 3, 4$.

Для оценивания параметров $\beta_i(t)$ воспользуемся следующей формулой [4]:

$$\dot{\hat{\theta}}_i = -\gamma_i \Delta (\Delta \hat{\theta}_i - Y_i). \quad (10)$$

где $\gamma_i > 0$ – матрица коэффициентов адаптации для оценки неизвестных параметров.

Для ошибки оценивания параметров $\tilde{\theta}_i = \hat{\theta}_i - \theta_i$ справедливо

$$\dot{\tilde{\theta}}_i = -\gamma_i \Delta^2 \tilde{\theta}_i, \quad (11)$$

откуда следует $\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\theta}_i(t) = 0 \Leftrightarrow \Delta(t) \notin L_2$.

Математическое моделирование

В данном разделе представлены результаты компьютерного моделирования, иллюстрирующие работоспособность предложенных способов идентификации неизвестных параметров. Все симуляции были выполнены в MATLAB-Simulink.

Средние значения параметров судна в модели управления, связанные со стохастическим поведением, приняты как: $\alpha_1 = 3$, $\alpha_2 = 4$, $\beta_1 = 1$, $\beta_2 = 2$, $\lambda = 1$. Входной сигнал $\delta = 5 \sin 2t + 2 \sin 3t + 4 \sin t + 5 \sin 2t + 6 \sin(t + 1) + 5 \sin(3t + 2)$

Тогда передаточная функция системы принимает вид

$$P = \frac{s+2}{s^3+3s^2+4s}.$$

Результат, выполненный в MATLAB-Simulink, показан на рис. 1, 2, 3, 4, 5, 6.

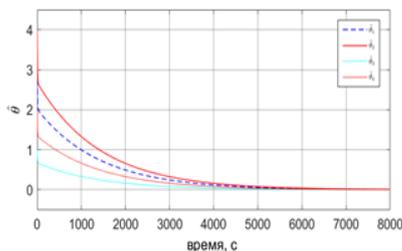


Рис. 1. Сигналы ошибки оценки параметров судна методом DREM при $\gamma = 170$

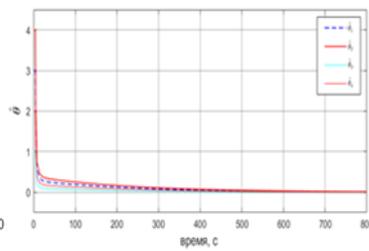


Рис. 2. Сигналы ошибки оценки параметров судна методом DREM При $\gamma = 350$

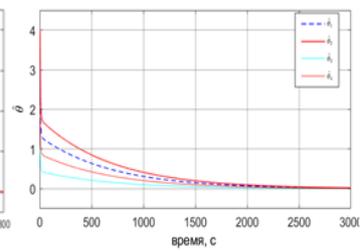


Рис. 3. Сигналы ошибки оценки параметров судна методом DREM при $\gamma = 250$

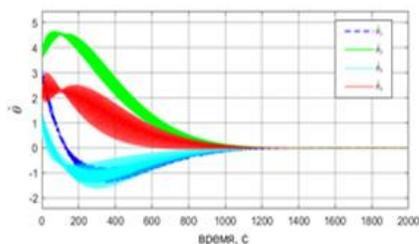


Рис. 5. Сигналы ошибки
оценки параметров судна на
основе градиентного метода
 $K = 3$

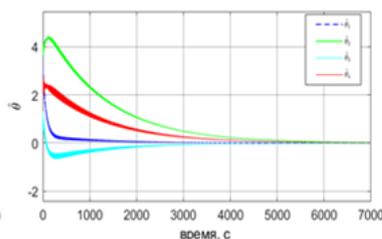


Рис. 3. Сигналы ошибки
оценки параметров судна
на основе градиентного
метода при $K = 0.5$

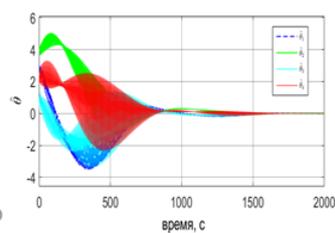


Рис. 6. Сигналы ошибки
оценки параметров судна
на основе градиентного
метода при $K = 15$

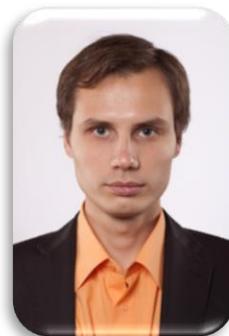
Литература

1. Davidson K.S.M., and Schiff L.I. 1946. "Turning and Course Keeping Qualities," SNAME. 55.
2. Nomoto K., Taguchi T., Honda K., and Hirano S., 1957. "On the Steering Qualities of Ships," Int. Shipbuilding Prog. 4. pp. 354–370.
2. Aranovski S., Bobtsov A., Ortega R., Pyrkin A. Performance enhancement of parameter estimators via dynamic regressor extension and mixing // IEEE Transactions on Automatic Control. 2016. V. 62. N 7. P. 3546–3550. doi: 10.1109/TAC.2016.2614889.
3. Ле Ван Туан, Бобцов А.А., Пыркин А.А. Новый алгоритм идентификации нестационарных параметров для линейной регрессионной модели. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics]. №5. том 17. 2017.



Неверов Евгений Андреевич

Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №42001,
направление подготовки: 23.04.03 Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов,
e-mail: neverov@itmo.ru



Спивак Антон Игоревич

Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: anton.spivak@itmo.ru

УДК 004.04

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕСТРОЕНИЯ
МАРШРУТА СЛЕДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО
СРЕДСТВА В УСЛОВИЯХ ВОЗМОЖНЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ И
ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЙ**

Е.А. Неверов

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.И. Спивак

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

В работе рассмотрена разработка модуля перестроения маршрута следования беспилотного транспортного средства, способного корректно функционировать в изменяющихся условиях окружающей среды. Был проведен эксперимент перестроения маршрута в симуляционной среде Isaac Sim Unity 3D.

Ключевые слова

Автономные роботы, обработка данных, Isaac SDK, Jetson AGX Xavier, Isaac Sim.

Эксплуатация беспилотных транспортных средств в неблагоприятных изменчивых условиях окружающей среды сопряжена с рядом проблем. Для корректного построения маршрута следования наземного робота и возможности корректного объезда препятствий, встречающихся на пути, важна правильная локализация автономного робота в пространстве. Наиболее часто используемым способом является локализация посредством GPS модуля. Однако необходимость эксплуатации беспилотного транспортного средства (БТС) в изменяющихся условиях (в том числе помещениях) накладывает ограничения на использование систем глобального позиционирования. Так, например, в работе [1] рассматривается навигация в закрытом помещении на основе различных конфигураций лидара. Подход в работе [2] описывает модель функционирования БТС на дорогах общего пользования. Функция стоимости

рассчитывается на основании удаленности БТС от референсного пути, то есть близости к краю проезжей части. Тем не менее, выезд БТС, в котором лидар используется в качестве основного локализационного сенсора, за пределы помещения при условии функционирования в среде с практически полным отсутствием препятствий, а также без явно различимого края проезжей части приводит к невозможности корректного получения информации о своем местонахождении. Необходимо также учитывать, что при функционировании БТС в зимнее время подходы расчета движения робота на основе колесной одометрии ведут себя некорректно. Использование исключительно инерциального модуля приводит к накоплению ошибки измерения ускорения с течением времени. В связи с этим предлагается использовать подход Stereo-Visual Odometry, который определяет положение робота в 3D-пространстве на основе непрерывного анализа видеопотока со стереокамеры и чтения показаний инерциального измерительного модуля [3].

Для решения задачи построения и последующей корректировки маршрута была предложена система на основе стереозрения. Визуальная навигация осуществляется на основе облака точек, полученного со стереокамеры Intel Realsense D415.

Поскольку в наборе для разработчиков Isaac SDK отсутствует возможность визуальной навигации [4], в разработанном модуле трехмерное облако точек преобразуется в двумерное представление, наподобие лидара. При получении изображения со стереокамеры также необходимо избавиться от искажений, обусловленных особенностями линз. После этапа предварительной обработки изображения было произведено вычисление рабочего диапазона расстояний удаленности камеры от объекта перестроения. Рабочее расстояние составило 0.5 – 4м с углами обзора $65^{\circ} \pm 2^{\circ} \times 40^{\circ} \pm 1^{\circ} \times 72^{\circ} \pm 2^{\circ}$ и погрешностью 0.12 м.

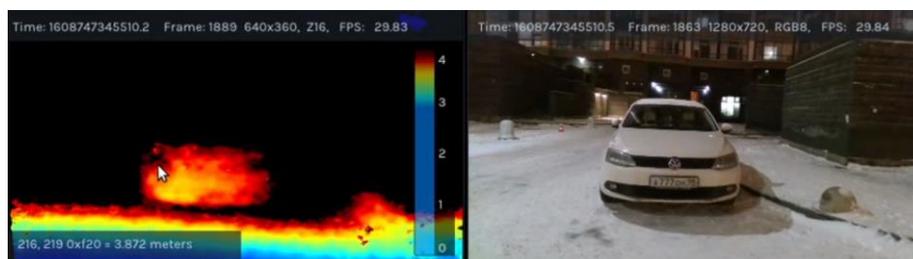


Рис. 1. Измерение расстояния до объекта камерой Intel Realsense D415

Для построения маршрута до точки после локализации был использован алгоритм Дейкстры. Алгоритм способен обеспечивать должное быстродействие в силу возможности производить ресурсоемкие вычисления на Jetson AGX Xavier. Плюсом данного алгоритма является оптимальность найденного пути и простота программной реализации.

В процессе следования по маршруту, построенному с помощью алгоритма Дейкстры, перестроение маршрута следования осуществляется на основе вычисленного выше рабочего диапазона камеры. Результат вычислений передается в модуль линейного квадратичного регулятора (LQR), который выполняет итеративный градиентный спуск с помощью линейного поиска, для поиска наилучшего пути.

Для проверки адекватности построенного маршрута был проведен эксперимент в среде Isaac Sim Unity 3D. На разработанном симуляционном уровне (рис. 1) учитывались следующие особенности эксплуатации:

- время года – зима,
- дистанция от пункта базирования - до 1000 м.,
- изменяющие условия окружающей среды (снег, дождь, туман).



Рис. 2. Пример смены времени суток и погодных условий в симуляции

Для корректного построения маршрута как в симуляции, так и в реальной среде необходимо предоставить карту препятствий для модуля глобального планирования маршрута. Карта статичных объектов для примера представлена на рис. 2, 3.



Рис. 3. Разработанная карта для модуля GlobalPlanner Isaac SDK

Эксперимент, проведенный в симуляции, показал корректное перестроение маршрута следования БТС при добавлении в уровень неизвестных ранее объектов.

Таким образом, в ходе проведенного исследования:

- были проанализированы методы построения и перестроения маршрута БТС;
- был предложен метод преобразования пространственной информации на основе информации со стереокамеры.
- Погрешность определения расстояния на предобработанных изображениях составила 0.12 м.

Дальнейшим этапом является внедрение системы в изготовленный прототип БТС и тестирование в условиях, приближенных к реальным.

Литература

1. Wei Zhang, Ning Liu, Yunfeng Zhang Learn to Navigate Maplessly with Varied LiDAR Configurations: A Support Point Based Approach // 2020.
2. Fickenscher, Jörg & Schmidt, Sandra & Hannig, Frank & Bouzouraa, Mohamed & Teich, Jürgen. 2018. Path Planning for Highly Automated Driving on Embedded GPUs. Journal of Low Power Electronics and Applications.
3. Stereo Visual Inertial Odometry – ISAAC 2020.1NX documentation [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://docs.nvidia.com/ isaac/isaac/packages/perception/doc/visual_odometry.html](https://docs.nvidia.com/isaac/isaac/packages/perception/doc/visual_odometry.html) (дата обращения: 16.02.2021).
4. Navigation Stack – ISAAC 2020.2 documentation [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://docs.nvidia.com/isaac/isaac/packages/navigation/index.html> (дата обращения: 17.02.2021).



Павлов Артем Валерьевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

аспирант группы №7763,

направление подготовки: 05.13.19 – Методы

и системы защиты информации,

e-mail: artempavlov1@gmail.com

УДК 004.056

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ ГРУПП
АТАКУЮЩИХ В СИСТЕМАХ АНАЛИЗА СОБЫТИЙ ИБ**

А.В. Павлов

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.В. Волошина

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

В работе рассмотрены существующие методы корреляции событий информационной безопасности и оценена их применимость для выявления групп атакующих на основании событий безопасности в системах анализа событий информационной безопасности. Выявление групп атакующих позволяет принимать соответствующие уровню угрозы меры реагирования и определять ресурсы атакующих. Представлена классификация методов, основанная на используемых объектах.

Ключевые слова

Информационная безопасность, системы обнаружения вторжений, защита информации, группы атакующих, корреляция событий, машинное обучение, Alert Correlation Systems, Threat Intelligence and Attribution.

С точки зрения защиты информации, выделение групп атакующих может позволить принимать обороняющейся стороне более точные меры по противодействию [1]. С точки зрения некоторых исследователей, "сети должны быть защищены от атакующих, а не от атак" [2]. Методы определения групп атакующих, как правило, основаны на методах корреляции событий в системах обнаружения вторжений. Обзоры таких методов уже были даны в [3] и других, однако вопрос применимости методов для выявления групп атакующих не рассматривался.

Группу атакующих можно определить как организацию, состоящую из связанных атакующих, объединенных инструментами, целью и статусом атак и информацией, полученной во время атак. В контексте работы с средствами обнаружения вторжений важно понимать, что атакующими будут считаться не люди, стоящие за атакой, а совокупность используемых ими ресурсов. С точки зрения систем защиты, различие атакующих, как правило, определяется по различным адресам источника атаки. Современные решения по защите информации способны определить сценарии, когда группа атакующих совершает действия с использованием одного адреса, также возможно обнаружение и корреляция событий сценария с перемещением по сети с использованием захваченных ресурсов организации.

Тем не менее, упускается существенная доля возможных сценариев. Во-первых, это использование различных адресов в рамках одной атаки, например, с использованием

случайных цепочек прокси-серверов (далее – Сценарий 1). Также упускается сценарий использования уникального инструмента группы для атаки на различные узлы организации с использованием разных адресов источника (Сценарий 2). Более того, не обнаруживаются сценарии, когда различные этапы Cyber Killchain [4] реализуются с использованием разных адресов (Сценарий 3). Исходя из предложенных сценариев, предлагается следующая верхнеуровневая классификация для методов выявления групп атакующих:

1. Методы, основанные на атрибутах атак.
2. Основанные на шагах методы.

В основе категории основанных на атрибутах атак методов лежит сравнение непосредственно тех данных, которые поступили из системы защиты и\или сетевого трафика, либо же этих данных после обогащения с использованием сторонних систем. В качестве источников для обогащения можно выделить DNS-записи, историю DNS-записей, WHOIS-записи, информацию об открытых портах и используемых сервисах на ресурсах атакующих. Некоторые из алгоритмов в этой категории для ускорения работы системы объединяют схожие события в мета-события, содержащие основные признаки группы, после чего новые события сравниваются уже с ними. Для представления данных обычно используется графовая модель. Таким образом, задача выделения группы событий сводится к поиску кластеров внутри графа по определенной весовой функции, которая и определяет различия в алгоритмах. Подобный подход относительно прост в реализации и подходит для обнаружения Сценариев 1 и 2.

Соответствующие этой категории алгоритмы корреляции событий систем обнаружения вторжений можно разделить на следующие группы:

1. Алгоритмы, основанные на свойствах событий. Для корреляции событий данный тип алгоритмов использует методы, сравнивающие включенные в атаку ресурсы. Метод работы позволяет определять свойства событий, дающие вклад в общую функцию сходства, и выделять схожие ресурсы. Подобные алгоритмы, как правило, не могут выявлять сложные атаки, но способны определить использование схожих ресурсов в рамках различных атак.

2. Алгоритмы, основанные на временных метках. Многие алгоритмы данного типа направлены на снижение объема данных. Поскольку действия атакующих могут вызвать реагирование нескольких систем защиты на пути сетевого пакета, возможно появление дубликатов событий с небольшим различием в отметке времени. Подобные алгоритмы выявляют подобные группы событий и объединяют их.

3. Алгоритмы, основанные на статистических взаимосвязях. Данный тип алгоритмов основан на определении нормального типа работы системы и выделении из него подозрительных событий – атак, или же выявлении среди повторяющихся событий тех, что, как правило, появляются вместе. Исследователи отмечают низкую точность такого подхода для корреляции событий [5].

4. Фильтрующие алгоритмы. Основу данной категории алгоритмов составляет подход, определяющий возможность совершения обнаруженной атаки в конкретной топологии сети или информационной системе. Подход ориентирован в первую очередь на отсеечение ложных срабатываний.

Вторая категория методов – основанные на шагах. В отличие от первой категории, для использования таких методов требуются существенные знания о защищаемой системе или возможных действиях атакующих. Они основаны на восстановлении последовательности действий атакующих при компрометации системы, пригодны для выявления Сценария 3 и соответствующие им алгоритмы можно разделить на две группы:

1. Основанные на сценариях алгоритмы. Они используют известные шаблоны атак, описанные формальным языком – сценарии атак. Таким образом, отсутствует

возможность выявления атак, неизвестных эксперту системы защиты, тем не менее, подобные методы имеют высокую точность.

2. Алгоритмы, основанные на модели Предпосылок-Последствий. Это развитие предыдущего подхода. Экспертом определяются связи между возможными типами событий в конкретной системе. Для практического внедрения необходимы знания о защищаемой системе.

Среди представленных групп алгоритмов не все подходят для применения с целью выделения групп атакующих. Так, фильтрующие и основанные на временных метках нацелены на уменьшение доли ложноположительных событий, а основанные на статистических взаимосвязях подходы имеют низкую точность. Исходя из приведенного анализа, подходят алгоритмы, основанные на свойствах, сценариях и модели Предпосылок-Последствий. На их основе возможно создание комплексного метода выявления групп атакующих.

Дальнейшее направление исследований включает анализ наборов данных, подходящих для оценки эффективности методов выявления групп атакующих. Исследователи отмечают, что использование закрытых, устаревших и имеющих известные проблемы наборы данных, которые встречаются в качестве подтверждения эффективности многих существующих методов, не является надежным. На основании подходящего набора данных требуется провести разработку комплексного подхода, использующего как основанные на атрибутах, так и основанные на шагах алгоритмы для выявления групп атакующих.

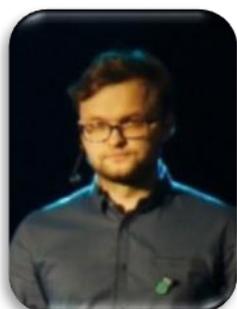
Литература

1. Xuena, P., Hong, Z. «An “attacker centric” cyber attack behavior analysis technique» // The 9th International Conference on Advanced Communication Technology, Okamoto, Kobe. 2007. P. 2113–2117.
2. Burroughs D., Wilson L., Cybenko G. «Analysis of distributed intrusion detection systems using bayesian methods» // 2002 Conference Proceedings of the IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference, Phoenix, AZ, USA, P. 329–334.
3. Pouget F., Dacier M. «Alert Correlation: Review of the state of the art» // EURECOM, Technical Report. 2003.
4. Cyber Kill Chain | Lockheed Martin [Электронный ресурс]. Режим доступа; <https://www.lockheedmartin.com/en-us/capabilities/cyber/cyber-kill-chain.html> (дата обращения: 01.02.2021).
5. Mirheidari S.A., Arshad S., Jalili R. «Alert correlation algorithms: a survey and taxonomy» // Wang G., Ray I., Feng D., Rajarajan M. (eds.) CSS 2013. LNCS. vol. 8300. 2013. P. 183–197.



Пенин Андрей Семенович

Год рождения: 1998
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы N41002,
направление подготовки: 23.04.03 – Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов,
e-mail: gorogtheghost@gmail.com



Виксин Илья Игоревич

Год рождения: 1967
Университет ИТМО,
факультет информационных технологий и программирования,
к.т.н., доцент ФБИТ,
e-mail: viksnin@itmo.ru

УДК 004.5

**ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА
МОЗГ-КОМПЬЮТЕР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДРОНАМИ
А.С. Пенин**

Научный руководитель – к.т.н., доцент И.И. Виксин

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

Анализ научно-исследовательских работ на тему управления беспилотными летательными аппаратами с помощью интерфейса мозг-компьютер демонстрирует ряд характерных особенностей, таких как необходимость предварительного обучения пользователя, проблема использования большого количества жестов для управления полётом дрона, «проблема Мидаса». Был выбран метод, позволяющий нивелировать наибольшее число особенностей, который затем будет применяться в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова

Интерфейс «мозг-компьютер», нейросети, нейроинтерфейс.

Интерфейс «мозг-компьютер» (ИМК, англ. Brain-Computer Interface, BCI) – это система, основное предназначение которой состоит в обмене информацией между мозгом и каким-либо электронным устройством. Основной целью такого обмена является осуществление управления устройством, в случае нашего исследования – беспилотным летательным аппаратом, на которое осуществляется передача данных. Впервые это понятие было зафиксировано в 1973 году в опубликованной статье Жака Видаля (Jacques Vidal) под название «К прямой связи мозга и компьютера» (англ. Toward direct brain-computer communication) [1], а уже впоследствии Джонатан Р. Уоллоу (Jonathan R. Wollpaw) в своём исследовании «Интерфейс мозг-компьютер для коммуникации и контроля» (англ. Brain-computer interfaces for communication and control) сформировал и описал [2] принципиальную схему его работы. Согласно этой схеме,

представленной на рисунке [2], вначале происходит сбор данных об активности мозга (signal acquisition), затем оцифрованный сигнал обрабатывается, из него удаляются шумы и артефакты (англ. feature extraction), происходит выявление характерных признаков, и на их основе происходит классификация сигналов с помощью транслирующих алгоритмов (весь процесс в английском языке носит название Signal Processing), а затем происходит формирование управляющей команды для устройства, которое, в свою очередь, предоставляет обратную связь пользователю.

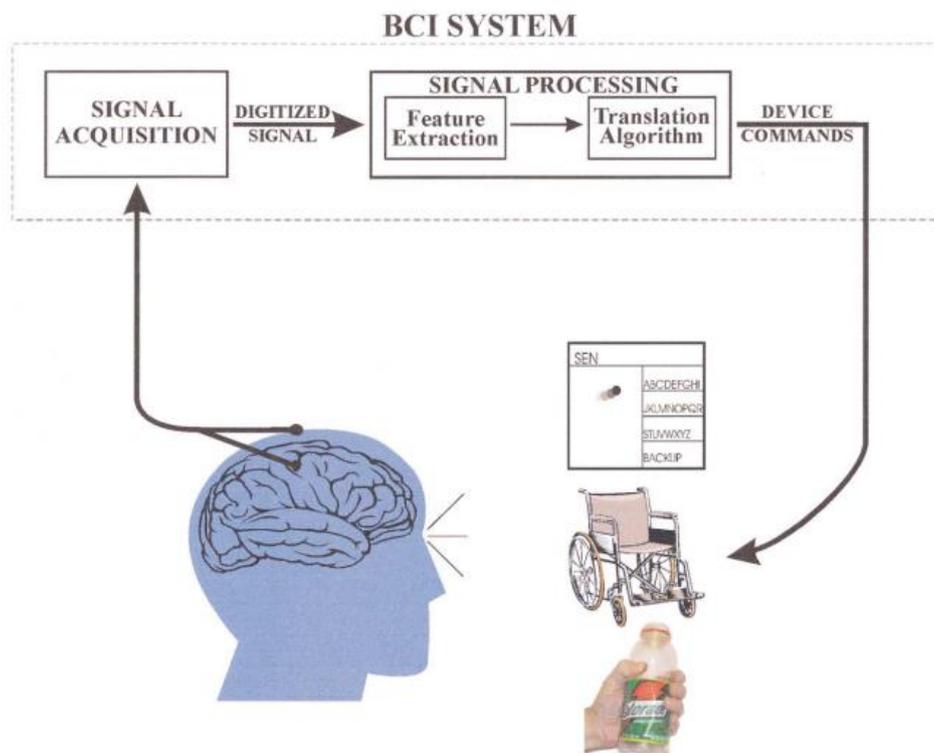


Рисунок. Принципиальная схема ИМК предложенная Джонатаном Уоллоу

При этом ИМК могут быть классифицированы как по способу получения сигнала [3]:

- неинвазивные (сигнал получается при помощи электроэнцефалограммы (ЭЭГ) или спектроскопии, не требует хирургического вмешательства);
- полу-инвазивные (сигнал получается при помощи электрокортикографии, при этом электроды вживляются под кости черепа и находятся непосредственно на коре головного мозга);
- инвазивные (электроды вживляются непосредственно в мозг), так и по способу взаимодействия с пользователем. Такую классификацию предложил в своей работе «К пассивным интерфейсам мозг-компьютер: использование технологии ИМК в системах человек-машина» (англ. Towards passive Brain-Computer interfaces: applying Brain-Computer interface technology to human-machine systems in general) исследователь Thorsten Zander [4]:
 - пассивные ИМК, система в этом случае действует самостоятельно, основываясь на анализе данных о состоянии пользователя;
 - реактивные ИМК, пользователь инициирует команды в ответ на воздействие системы;
 - активные ИМК, где пользователь инициирует команды самостоятельно, без внешних воздействий.

В данном исследовании будут рассматриваться именно неинвазивные активные ИМК. Такие интерфейсы возможно исследовать на широком круге лиц, они просты в использовании и обладают достаточной мобильностью. Кроме того, современные модели ЭЭГ позволяют получать сигнал с достаточной точностью, например, в эксперименте по управлению курсором мыши с помощью воображаемых движений исследователям из Бранденбургского технического университета удалось достичь результатов точности в $73\% \pm 8$ для 19 участников исследования [5].

Перед тем как переходить к обзору особенностей выбранного для изучения подхода к контролю дронов, следует определить, что подразумевается под термином «дрон» в данном исследовании. Под этим термином в первую очередь подразумевается беспилотное воздушное судно (БВС), или же беспилотный летательный аппарат (БЛА), согласно ГОСТ Р 57258-2016 от 01.06.2017 «Системы беспилотной авиации. Термины и определения», данные термины являются синонимичными [6] и обозначают воздушное судно (ВС), управляемое в полете пилотом, находящимся вне борта такого ВС, или выполняющее автономный полёт по заданному предварительному маршруту.

Для определения особенностей, связанных с управлением БЛА с помощью ИМК, был проведен анализ ряда опубликованных исследований на заданную тематику. Данные исследования были опубликованы в период с 2013 по 2020 год, и во всех них был реализован процесс управления дроном с помощью интерфейса мозг-компьютер. Далее представлен список рассмотренных исследований:

1. Karl LaFleur, Kaitlin Cassady, Alexander Doud, Kaleb Shades, Eitan Rogin, Bin He. Quadcopter control in three-dimensional space using a noninvasive motor imagery-based brain-computer interface // Journal of Neural Engineering – 2013 – VL 10 (4).

2. Jzau-Sheng Lin, Zi-Yang Jiang. Implementing Remote Presence Using Quadcopter Control by a Non-Invasive BCI Device // Computer Science and Information Technology – 2015 – VL 3(4) – P 122-126.

3. Sebastian Daniel Rosca, Monica Leba, Andrea Cristina Ionica. Quadcopter control using a BCI // IOP Conference Series Materials Science and Engineering – 2018 – VL 294.

4. Xu Duan, Songyun Xie, Xinzhou Xie, Ya Meng, Zhao Xu. Quadcopter Flight Control Using a Non-invasive Multi-Modal Brain Computer Interface // Neurobot – 2019 – 13 – 13-23.

5. Iuliana Marin, Myssar Jabbar Hammood Al-Battbooti, Nicolae Coga. Drone Control based on Mental Commands and Facial Expressions // Electronics, Computers and Artificial Intelligence 2020 INTERNATIONAL CONFERENCE At: Bucharest, Romania – 2020.

В ходе анализа выбранных научных работ одной из выявленных характерных особенностей была необходимость предварительного обучения пользователей для использования ИМК. Это обусловлено заметными отличиями используемого подхода к управлению дронами от любых других, используемых на данный момент. Участникам экспериментов требуется время, чтобы привыкнуть к новому подходу, но даже после этого время и точность реакции были ниже, чем для традиционных методов. Кроме того, дополнительным усугубляющим фактором является необходимость ориентирования в трехмерном пространстве, что ещё больше повышает сложность задачи. Одним из использованных методов обучения был предварительный отбор участников на основании теста по контролю курсора мыши с помощью ИМК. Участие в дальнейших тестах проходили только те из них, кто получал результирующий показатель точности выше 70%. Такой отбор позволил в отдельных случаях добиться 90% точности выполнения задач при скорости движения летательного аппарата по прямой составляющей 0,69 м/с [7, 9-10]. Таким образом, можно сделать вывод, что предварительное обучение пользователей позволяет получить значительно лучшие результаты при управлении беспилотным летательным аппаратом.

Второй выявленной характерной особенностью является необходимость использования значительного количества образов для осуществления процесса

управления дроном с помощью ИМК. Данная особенность также обусловлена необходимостью точного контроля перемещения дрона в трехмерном пространстве. В рамках данной научно-исследовательской работы количество использованных моторных образов считалось «значительным» если оно было более или равно 6.

Ещё одной проблемой, характерной именно для ИМК, является так называемая «Проблема прикосновения Мидаса» (англ. Midas touch problem). Деятельность мозга трудно регулировать сознательно, из-за чего могут возникать непроизвольные движения глаз, посторонние ощущения или сигналы. Таким образом, если в ИМК используются элементы считывания движений глаз, то любая непроизвольная зрительная фиксация на элементе интерфейса может и будет приводить к его активации, даже если у самого пользователя отсутствует такое намерение. Одним из подходов к решению этой проблемы может быть применение пассивного ИМК [8]. Он будет использоваться для фиксирования намерения пользователя задействовать тот или иной объект интерфейса. При таком подходе взгляд является средством выбора нужных элементов интерфейса, а электрическая активность мозга, снимаемая с помощью ЭЭГ, подтверждает намерения. Недостатком такого подхода является усложнение реализации интерфейса, что приводит к его удорожанию, а также усложнение программной реализации интерфейса.

По результатам анализа научных работ было проведено сравнение, отражающее выявленные в рамках научных исследований особенности. Результаты этого сравнения представлены в сравнительной таблице. Если особенность была отражена в исследовании, то в таблице оно обозначается символом «+». Если особенность в ходе исследования обозначена не была, то в таблице оно обозначается символом «-». Для удобства названия исследований были заменены цифровой индексацией.

Таблица

**Сравнительная таблица выявленных особенностей
использования ИМК для контроля БЛА**

Индекс исследования	Особенности использования ИМК проявившиеся в ходе исследования		
	Углублённое обучение пользователей	Необходимость использования большого количества образов (6 и более)	Проблема «Прикосновения Мидаса»
1	+	-	-
2	-	+	+
3	+	+	-
4	+	+	+
5	+	-	+

Проведенный сравнительный анализ исследований показал, что наиболее эффективным оказался подход, используемый в исследовании «Quadrocopter control in three-dimensional space using a noninvasive motor imagery-based brain-computer interface». Данный подход позволяет достичь высокой точности (более 90% [7]) при выполнении упражнений с помощью дрона, контролируемого через интерфейс мозг-компьютер. При этом количество задействованных моторных образов для управления дроном было наименьшим среди всех изученных и составило всего 4 образа. Все образы были подобраны так, чтобы иметь однозначную трактовку и минимальный шанс самопроизвольного воспроизведения, что позволило также нивелировать «проблему Мидаса». С помощью данной методики планируется вести дальнейшие исследования в тематике использования ИМК для контроля дронов.

Литература

1. Jacques J. Vidal. Toward direct Brain-Computer communication // <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.bb.02.060173.001105>. (дата обр. 15.12.2020).
2. Wolpaw J.R., Birbaumer N., McFarland D.J., Pfurtscheller G., Vaughan Th.M. Brain-computer interfaces for communication and control // *Clinical Neurophysiology*. 113 2002. P. 767-791.
2. Buzsáki G, Anastassiou CA, Koch C. The origin of extracellular fields and currents-EEG, ECoG, LFP and spikes // *Nat Rev Neurosci*. 2012. VL 13(6). P.407-420. doi: 10.1038/nrn3241.
3. Zander Th.O. Towards passive Brain-Computer interfaces: applying Brain-Computer interface technology to human-machine systems in general // *Journal of Neural Engineering*. 2011. VL 8 (2). doi: 10.1088/1741-2560/8/2/025005.
4. Zander Th.O., Krol L.R. Team PhyPA: Brain-Computer interfacing for everyday human-computer interaction // *Periodica Polytechnica, Electrical Engineering*. 2017. VL 61. P.209-216. doi: 10.3311/PPee.10435.
1. ГОСТ Р 57258-2016 «Системы беспилотные авиационные. Термины и определения». Введен 01.06.2017. [ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200141433>. (дата обр. 15.12.2020).
5. LaFleur K., Cassady K., Doud A., Shades K., Rogin E., Bin He. Quadrocopter control in three-dimensional space using a noninvasive motor imagery-based brain-computer interface // *Journal of Neural Engineering*. 2013. VL 10 (4). doi: 10.1088/1741-2560/10/4/046003.
6. Величковский Б.Б., Румянцев М.А., Морозов М.А. Новый подход к проблеме «прикосновения Мидаса»: идентификация зрительных команд на основе выделения фокальных фиксации // *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*. 2013. №3. С. 33-45.
7. Jzau-Sheng Lin, Zi-Yang Jiang. Implementing Remote Presence Using Quadrocopter Control by a Non-Invasive BCI Device // *Computer Science and Information Technology*. 2015. VL 3(4). P 122-126. doi: 10.13189/csit.2015.030405.
8. Rosca S.D., Leba M., Ionica A.C. Quadrocopter control using a BCI // *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2018. VL 294. doi: 10.1088/1757-899X/294/1/012048.
9. Xu Duan, Songyun Xie, Xinzhou Xie, Ya Meng, Zhao Xu. Quadrocopter Flight Control Using a Non-invasive Multi-Modal Brain Computer Interface // *Neurobot*. 2019. 13. 13-23. doi: <https://doi.org/10.3389/fnbot.2019.00023>.
10. Marin I., Hammood M.J. Al-Battbootti, Coga N. Drone Control based on Mental Commands and Facial Expressions // *Electronics, Computers and Artificial Intelligence 2020 International conference at: Bucharest, Romania. 2020*. doi:10.1109/ECAI50035.2020.9223246.



Перфильев Владислав Эдуардович
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы N42514с,
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная
безопасность,
e-mail: vladislavperfilev1@gmail.com



Меншиков Александр Алексеевич
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: menshikov@itmo.ru

УДК 004.021

КОМБИНИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ МОШЕННИЧЕСКИХ ТРАНЗАКЦИЙ БЕЗ УЧИТЕЛЯ И С УЧИТЕЛЕМ В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО БАНКОВСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

В.Э. Перфильев

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Меншиков

Работа выполнена в рамках темы НИР №50449 «Разработка алгоритмов защиты киберпространства для решения прикладных задач обеспечения кибербезопасности организаций банковской сферы».

Аннотация

В работе представлено теоретическое описание комбинированного алгоритма обнаружения мошеннических транзакций без учителя и с учителем в системе дистанционного банковского обслуживания (ДБО). Проведены два эксперимента, с использованием таких методов машинного обучения (МО) без учителя, как случайный лес (RF) и экстремальный градиентный бустинг (XGBoost). В качестве наилучшего метода для обнаружения мошеннических транзакций выбран XGBoost.

Ключевые слова

Мошенничество в банковской сфере, ДБО, МО без учителя, RF, XGBoost.

По данным РБК в России с апреля по июнь 2020 года количество мошеннических операций с банковскими картами выросло более чем в 2 раза по сравнению с аналогичным периодом в прошлом году. При этом в общем числе мошенничеств доля мошеннических операций с применением телекоммуникационных технологий увеличилась с 50% в 2019-ом г. до 71% в 2020-ом г. Это говорит о том, что именно этот способ обмана обеспечил общий прирост, следовательно, данное направление является наиболее приоритетным для борьбы с мошенническими атаками в банковской сфере [1].

Цель данного исследования состоит в создании комбинированного алгоритма обнаружения мошеннических транзакций без учителя и с учителем в системе ДБО для защиты от целевых атак и мошеннических действий пользователей. Также будут проведены первые эксперименты с использованием методов МО без учителя.

Комбинированный алгоритм должен определять мошеннические действия пользователей в системах ДБО, таких как мобильные приложения и веб-версии онлайн-банкинга на основе транзакций с помощью непрерывного поведенческого анализа пользователей, то есть в режиме реального времени.

Для достижения поставленных цели комбинированный алгоритм должен решать следующие задачи:

- обработка транзакций в режиме реального времени;
- обработка поведения пользователей в режиме реального времени;
- отложенная обработка транзакций.

На рис. 1 в общем виде представлена схема данного алгоритма.

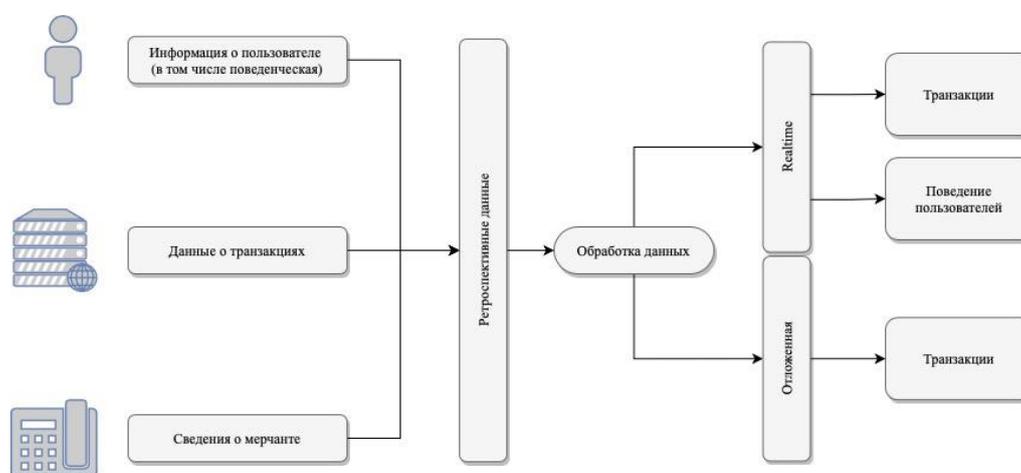


Рис. 1. Высокоуровневая схема комбинированного алгоритма

Алгоритм получает на вход данные, которые относятся к одной из следующих категорий:

- информация относительно клиента (в том числе поведенческая);
- информация относительно транзакции;
- информация относительно мерчанта.

Далее следуют два подхода к обработке данных:

- 1) в режиме реального времени;
- 2) отложенный.

Рассмотрим подробнее каждый подход к обработке данных, начиная с обработки в режиме реального времени.

В режиме реального времени обрабатываются транзакции и анализируется поведение пользователей. Для данного подхода больше всего важна скорость обработки данных, поскольку его основная цель – это определение и предотвращение мошеннических действий в кратчайшие сроки, т.е. во время совершения мошеннической транзакции необходимо заблокировать или не дать провести её.

Обработка данных в режиме реального времени необходима тогда, когда первичное заключение о транзакции должно быть сделано в кратчайшие сроки: например, через несколько секунд после оплаты покупки. Стоит отметить, что скорость идентификации мошеннических транзакций зависит от технических требований и возможностей конкретного банка.

На рис. 2 представлена схема алгоритма определения мошеннических транзакций в режиме реального времени.

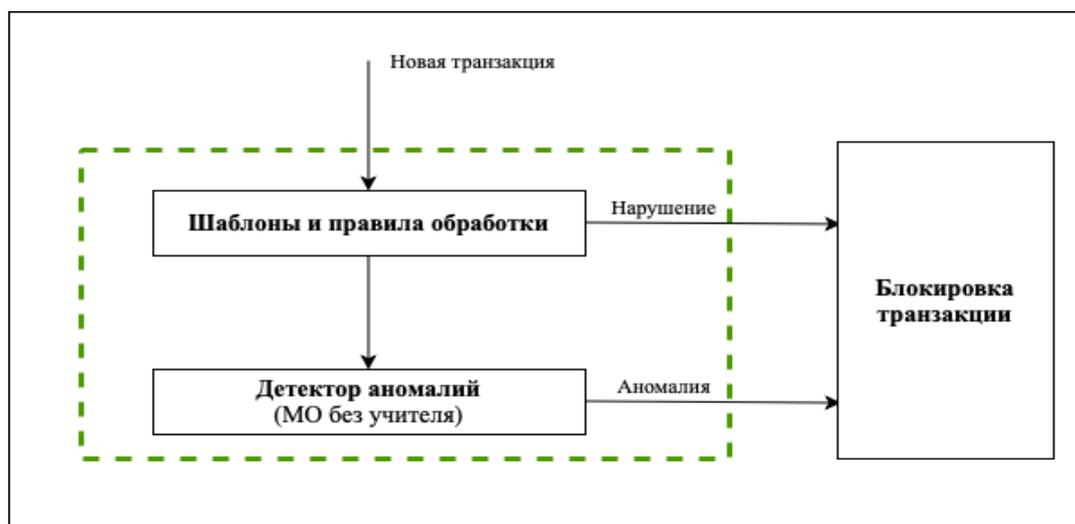


Рис. 2. Определение мошеннических транзакций в режиме реального времени

Данный алгоритм включает в себя два основных блока:

1. Шаблоны и правила обработки.
2. Детектор аномалий.

Транзакция поступает в первый блок, который представляет собой некий набор шаблонов и правил обработки, основанных на данных о пользователе, которые известны банку.

Если первый блок выявляет какие-либо нарушения, он сразу блокирует транзакцию, замораживая денежные средства на счету пользователя, либо вовсе не дает провести транзакцию. При этом второй блок не задействуется.

Если по итогу всех шаблонов и правил обработки из первого блока никаких нарушений не было выявлено, то транзакция переходит на следующий блок – детектор аномалий.

Детектор аномалий – это второй блок алгоритма определения мошеннических транзакций в режиме реального времени. На второй блок поступают транзакции, которые удовлетворяют шаблонам и правилам обработки первого блока. Транзакции, поступающие в данный блок, обрабатываются машинным обучением без учителя. Цели данного блока:

- обнаружение пользователей, характеристики которых значительно отличаются от среднего;
- выявление причин, по которым аномальное поведение отличается от среднего (анализ первопричин).

Несомненно, главным плюсом обработки данных в режиме реального времени является скорость реагирования, а недостатком выступает его точность.

Отложенный подход к обработке транзакции требует больше времени, но является более надежным. Несмотря на то, что данный подход обработки данных не позволяет заблокировать мошенническую транзакцию во время её совершения, возможны другие действия по отношению к владельцу карты/счета, например: блокировка карты/счета (по которой предположительно была совершена мошенническая операция), отмена транзакции, возврат денежных средств и так далее.

На рис. 3 представлена схема отложенного алгоритма определения мошеннических транзакций.

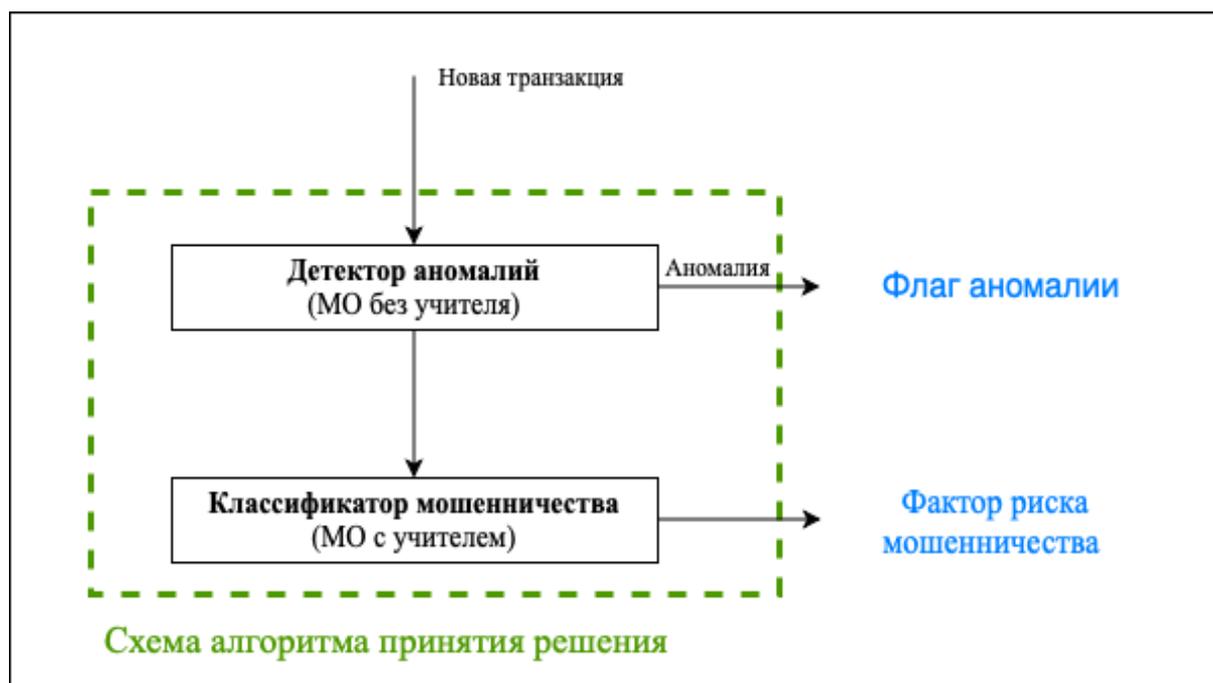


Рис. 3. Отложенное определение мошеннических транзакций

В данном подходе новая транзакция сразу поступает в блок детектора аномалий для предварительной обработки. В результате данного блока может быть получено два результата:

1. Улучшенные ярлыки: многие мошеннические транзакции некорректно определяются в режиме реального времени. Причиной является то, что обучающий набор данных, используемый вторым блоком, может содержать зашумленные данные (noisy data), которые, в свою очередь, могут снизить эффективность классификации. В частности, транзакция, которая считается ненормальной для первого блока, но имеющая метку 0, могла быть определена неправильно (False-Positive). Улучшенные ярлыки позволяют более тщательно анализировать подозрительные транзакции на основании времени, близкого к значению, характерному для мошеннических транзакций и максимальной сумме транзакции.

2. Низкая внутриклассовая вариативность: мошеннические транзакции часто очень похожи на легитимные. Таким образом, помечая ненормальные транзакции как мошенничество, мы усложняем классификатору мошенничества обнаружение реальных мошеннических транзакций.

Второй блок – классификатор мошенничества (машинное обучение с учителем). Данный классификатор обучен на наборе данных, в котором каждая транзакция помечена как мошенничество или не мошенничество.

Также присутствует проблема дисбаланса, т.е. обучающий набор данных сильно смещен в сторону класса легитимных транзакций. Например, в наборе данных мошенничество составляет менее 0,1% от общего числа транзакций.

Разобраться с дисбалансом можно и на алгоритмическом уровне. Для этого вместо того, чтобы использовать полностью случайный раздел набора данных для каждого дерева, необходимо каждое дерево решений обучать на случайной части набора данных, чтобы снизить корреляцию между деревьями, тогда каждая часть набора данных будет содержать равное количество выборок из большинства классов легитимных транзакций и мошенничеств [2].

На рис. 4 представлена полученная обучающая процедура.

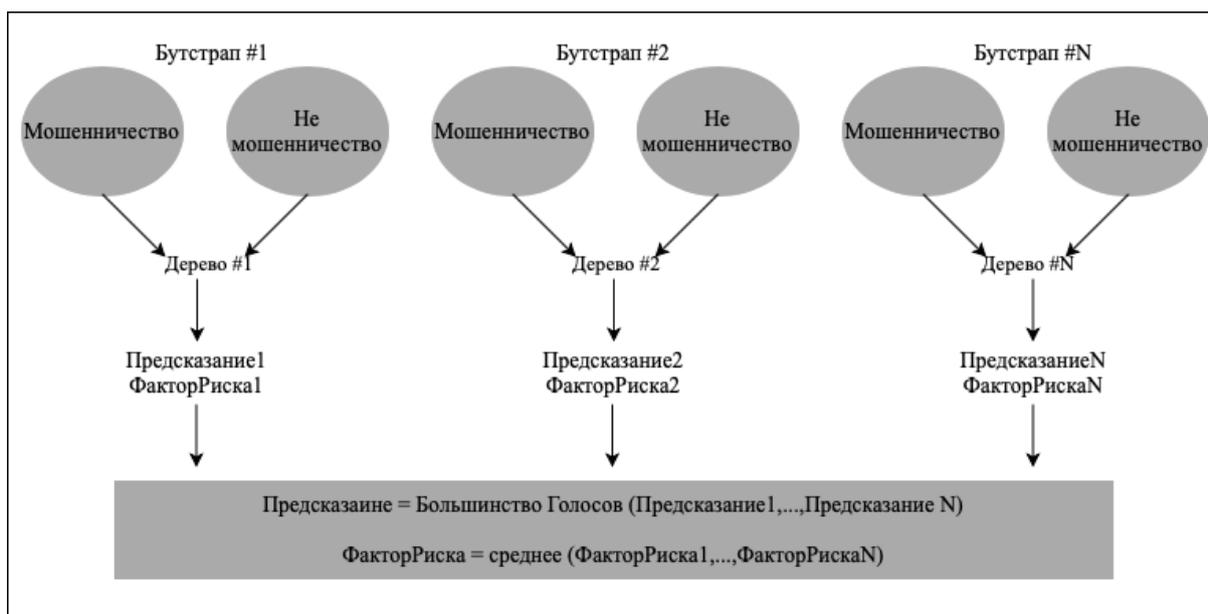


Рис. 4. Решение проблемы дисбаланса

Основным показателем отложенной обработки данных должна выступать высокая точность, поскольку алгоритм определения мошеннических транзакций в данном подходе занимает больше времени и происходит уже после совершения транзакции.

На этом теоретическое описание алгоритма окончено, и можно приступать к первым экспериментам с использованием методов МО без учителя.

Для исследования были использованы данные от ПАО «Сбербанк» в рамках курса «Введение в финансовую кибербезопасность» по совместной магистерской программе. Всего было предоставлено два датасета.

Первый датасет представляет собой размеченный массив данных 9016×6 по переводам между клиентами.

Второй – состоит из исторических транзакций клиентов из первого датасета, и его размер составляет 562490 строк на 11 столбцов.

Для первого эксперимента был выбран метод с RF, как один из наилучших методов в ходе анализа литературы на первом этапе научно-исследовательской работы.

На рис. 5 представлен результат эксперимента с RF.

```
In [35]: target_names = ['Genuine', 'Fraud']
print(classification_report(ytest, ypred, target_names=target_names))
```

	precision	recall	f1-score	support
Genuine	0.99	1.00	1.00	1361
Fraud	0.20	0.11	0.14	9
accuracy			0.99	1370
macro avg	0.60	0.55	0.57	1370
weighted avg	0.99	0.99	0.99	1370

Рис. 5. Результат первого эксперимента

Показатели модели из первого эксперимента:

1. Fraud Precision = 0.20.
2. Fraud Recall = 0.11.

Данный результат можно улучшить, поэтому было принято решение провести еще один эксперимент.

Для второго эксперимента был выбран метод XGBoost – это алгоритм машинного обучения, основанный на дереве поиска решений и использующий фреймворк градиентного бустинга. Он прекрасно подходит для задач предсказания, где используются структурированные или табличные данные небольших размеров, например такие как транзакции [3].

На рис. 6 представлен результат эксперимента с XGBoost.

```
In [62]: target_names = ['Genuine', 'Fraud']
print(classification_report(ytest, ypred, target_names=target_names))
```

	precision	recall	f1-score	support
Genuine	0.78	0.78	0.78	9
Fraud	0.80	0.80	0.80	10
accuracy			0.79	19
macro avg	0.79	0.79	0.79	19
weighted avg	0.79	0.79	0.79	19

Рис. 6. Результат второго эксперимента

Показатели модели из второго эксперимента:

1. Fraud Precision = 0.80.
2. Fraud Recall = 0.80.

Результаты экспериментов показывают, что использование XGBoost по сравнению с RF позволяет повысить точность распознавания мошенничеств ценой роста ложноположительных срабатываний. Следовательно, в рамках данного исследования XGBoost является наилучшим методом для обнаружения мошеннических транзакций.

Таким образом, в ходе работы было представлено теоретическое описание комбинированного алгоритма обнаружения мошеннических транзакций без учителя и с учителем в системе ДБО. Были проведены два эксперимента с использованием таких методов МО без учителя, как RF и XGBoost. В качестве наилучшего метода для обнаружения мошеннических транзакций был выбран XGBoost.

В дальнейшей работе планируется улучшение показателя ложноположительных срабатываний при МО без учителя, а также проведение экспериментов с учителем.

Литература

1. Число дел о мошенничестве рекордно выросло на фоне пандемии | РБК [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rbc.ru/society/31/08/2020/5f48ea169a79477e21e25d9d> (дата обращения: 01.02.2021).
2. Susto G.A. et al. A Fraud Detection Decision Support System via Human On-Line Behavior Characterization and Machine Learning //2018 First International Conference on Artificial Intelligence for Industries (AI4I). IEEE. 2018. С. 9-14.
3. XGBoost Algorithm: Long May She Reign! | Towards Data Science [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/https-medium-com-vishalmorede-xgboost-algorithm-long-she-may-rein-edd9f99be63d> (дата обращения: 11.01.2021).



Петровская Мария Ромуальдовна

Год рождения: 1997

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

студент группы № N42516с,

направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность,

e-mail: petrovskaya_mari@bk.ru



Кузнецов Александр Юрьевич

Год рождения: 1989

Университет ИТМО,

факультет безопасности информационных технологий,

к.т.н.,

e-mail: al.ur.kouznetsov@gmail.com

УДК 004.021

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО К ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ АЛГОРИТМА ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВОГО ВОДЯНОГО ЗНАКА В НЕПОДВИЖНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

М.Р. Петровская

Научный руководитель – к.т.н., А.Ю. Кузнецов

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

В работе представлен стеганографический алгоритм, предназначенный для встраивания и извлечения цифровых водяных знаков в неподвижные изображения. Алгоритм базируется на совместном применении дискретного вейвлет-преобразования, дискретно-косинусного преобразования и преобразования Адамара. Приводятся результаты исследования алгоритма на устойчивость к вредоносным воздействиям и результаты незаметности встраивания информации в изображение-контейнер.

Ключевые слова

Цифровой водяной знак, стеганографический алгоритм, цифровое маркирование, дискретное вейвлет-преобразование, дискретно-косинусное преобразование, преобразование Адамара.

Введение

Развитие методов сокрытия информации позволяет обеспечить защиту авторских прав на мультимедийную информацию. Встраивание цифровых водяных знаков (ЦВЗ) используется при цифровой обработке сигналов для встраивания скрытой информации в файлы. Надежность ЦВЗ определяется устойчивостью к различным манипуляциям, направленным на изменение или удаление внедренной в файл информации.

Устойчивость к компрессии и искажениям определяется выбором метода встраивания информации в изображение, и таким требованиям стойкости отвечают

частотные методы преобразования изображений. В данной работе будет рассмотрен стеганографический алгоритм, основанный на двух частотных методах – дискретном вейвлет-преобразовании (ДВП) и дискретно-косинусном преобразовании (ДКП). Встраивание ЦВЗ в неподвижное изображение будет сопровождаться предварительной обработкой ЦВЗ для увеличения стойкости алгоритма к вредоносным воздействиям [4].

Скремблирование изображения

Преобразование Арнольда представляет собой один из вариантов скремблирования изображения, в результате которого преобразованные данные обладают свойствами случайной последовательности. Преобразование Арнольда описывается выражением (1):

$$\begin{vmatrix} x' \\ y' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} \bmod N, \quad (1)$$

где x, y – координаты элемента в исходной матрице, x', y' – координаты элемента в преобразованной матрице, N – порядок матрицы.

Обратное преобразование Арнольда описывается выражением (2):

$$\begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} x' \\ y' \end{vmatrix} \bmod N. \quad (2)$$

На рис. 1 приведен пример выполнения однократного и четырехкратного применения преобразования Арнольда над ЦВЗ.



Исходное изображение

1 итерация

4 итерации

Рис. 1. Результат выполнения преобразования Арнольда над ЦВЗ

Дискретное вейвлет-преобразование

ДВП позволяет разложить сигнал на взаимно-ортогональный набор вейвлетов, что позволяет проанализировать и синтезировать исходный сигнал [1].

Вейвлет Добеши описывается с помощью вейвлет-функции $\psi(t)$ и масштабирующей функции $\varphi(t)$ согласно выражениям (3), (4):

$$\varphi(t) = \sqrt{2} \sum_k h_k \varphi(2t - k), \quad (3)$$

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_k g_k \varphi(2t - k). \quad (4)$$

В работах [2, 3] приводится сравнение различных фильтров для встраивания ЦВЗ в изображение. Фильтр Добеши 2 обладает более высокой устойчивостью к атакам на

изображение по сравнению с таким фильтрами, как Добеши 9/7, Добеши 8 и фильтр Хаара.

Для вейвлета Добеши 2 коэффициенты определяются согласно выражению (5):

$$h_0 = \frac{1 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}}; h_1 = \frac{3 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}}; h_2 = \frac{3 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}}; h_3 = \frac{1 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}}; \\ g_0 = h_3; g_1 = -h_2; g_2 = h_1; g_3 = -h_0. \quad (5)$$

Дискретно-косинусное преобразование

ДКП для изображения размером $N \times N$ выполняется согласно выражению (6):

$$\Omega(u, v) = \frac{\zeta(u)\zeta(v)}{\sqrt{2N}} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} C(x, y) \cos \left[\frac{\pi u(2x+1)}{2N} \right] \cos \left[\frac{\pi v(2y+1)}{2N} \right], \quad (6)$$

где $C(x, y)$ – элементы контейнера, (x, y) – координаты пикселей контейнера, $\Omega(u, v)$ – массив коэффициентов ДКП, (u, v) – координаты частотных коэффициентов ДКП.

Результатом выполнения ДКП над блоком 8×8 изображения является матрица коэффициентов ДКП [4].

Обратное ДКП выполняется согласно выражению (7):

$$S(u, v) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \zeta(u)\zeta(v)\Omega(u, v) \cos \left[\frac{\pi u(2x+1)}{2N} \right] \cos \left[\frac{\pi v(2y+1)}{2N} \right]. \quad (7)$$

Вычисление значений $\zeta(u)$ и $\zeta(v)$ выполняется согласно (8) и (9) соответственно.

$$\zeta(u) = \frac{1}{\sqrt{2}}, \text{ при } u = 0, \text{ и } \zeta(u) = 1, \text{ при } u > 0, \quad (8)$$

$$\zeta(v) = \frac{1}{\sqrt{2}}, \text{ при } v = 0, \text{ и } \zeta(v) = 1, \text{ при } v > 0. \quad (9)$$

Описание алгоритма

Последовательность действий при встраивании ЦВЗ в контейнер:

1. На вход поступают контейнер, ЦВЗ и две псевдослучайные последовательности seq_0 и seq_1 , формирование которых выполняется с помощью секретного ключа.

2. Выполняется скремблирование ЦВЗ с использованием преобразования Арнольда и последующее представление результата в виде последовательности бит.

3. При достаточном размере контейнера устанавливаются пороговые коэффициенты, и выполняется ДВП с фильтром Добеши 2 над контейнером.

4. Полученный квадрант LL разбивается на блоки 8×8 , к каждому блоку применяется ДКП, и при успешной проверке валидности блока изменяется значение коэффициента матрицы ДКП согласно формулам (10), (11).

5. При внедрении всех бит ЦВЗ выполняется обратное ДКП.

6. Выполняется обратное ДВП.

Последовательность действий при извлечении ЦВЗ из стегоконтейнера:

1. На вход поступают стегоконтейнер и две псевдослучайные последовательности.

2. Устанавливаются пороговые коэффициенты.
3. Выполняется ДВП.
4. Полученный квадрант LL разбивается на блоки 8×8 , к каждому блоку применяется ДКП, и при успешной проверке валидности блока извлекается встроенный бит из коэффициента матрицы ДКП согласно формулам (12), (13).
5. Формируется список извлеченных бит и после преобразовывается в монохромное изображение.
6. Выполняется обратное преобразования Арнольда для формирования извлечённого ЦВЗ.

Встраивание ЦВЗ в контейнер осуществляется согласно выражениям (10) и (11):

Если бит ЦВЗ равен 0, то

$$\hat{L}_i = L_i + \alpha \times seq_0. \quad (10)$$

Если бит ЦВЗ равен 1, то

$$\hat{L}_i = L_i + \alpha \times seq_1. \quad (11)$$

где \hat{L}_i – модифицированный коэффициент матрицы ДКП, α – усиливающий коэффициент.

Для извлечения ЦВЗ из стегоконтейнера вычисляется корреляция между подмножеством \hat{L}_i и последовательностями seq_0 и seq_1 согласно выражениям (12) и (13)

Если

$$r(\hat{L}_i, seq_0) > r(\hat{L}_i, seq_1), \quad (12)$$

то бит ЦВЗ равен 0.

Если

$$r(\hat{L}_i, seq_0) \leq r(\hat{L}_i, seq_1), \quad (13)$$

то бит ЦВЗ равен 1.

Практические результаты

Алгоритм стеганографии реализован на языке Python в среде разработки Spyder, при помощи **средства создания графических интерфейсов PyQt5**.

В качестве ЦВЗ использовалось монохромное изображение 32×32 пикселей, размер контейнера составлял 1024×1024 пикселей.

Для исследования алгоритма на устойчивость к вредоносным воздействиям применены атаки сжатия JPEG2000 и шум Гаусса. Исследование проводилось при величине усиливающего коэффициента $\alpha = 4$.

Зависимость коэффициента корреляции Пирсона от величины дисперсии шума Гаусса приведена на рис. 2. Стегоконтейнер подвергался вредоносному воздействию до величины дисперсии, равной 0,032. Алгоритм обеспечивает устойчивость к воздействию шума Гаусса до $\delta = 0,031$, демонстрируя более высокий уровень устойчивости к атаке по сравнению с приведенными алгоритмами стеганографии.

Зависимость коэффициента корреляции Пирсона от уровня сжатия JPEG2000 показана на рис. 3. После встраивания ЦВЗ стегоконтейнер подвергался сжатию JPEG2000 с различным коэффициентом сжатия. Алгоритм обеспечивает высокий уровень устойчивости к атаке сжатия JPEG2000 до уровня 62, демонстрируя преимущества по сравнению с приведенными алгоритмами.

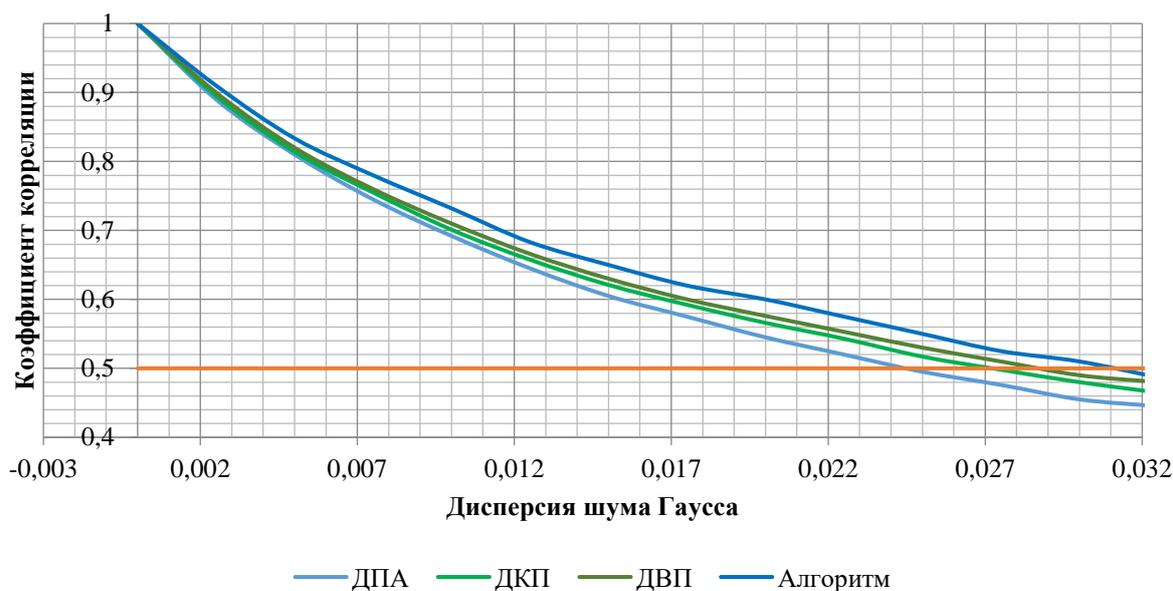


Рис. 2. Устойчивость стеганографических алгоритмов к шуму Гаусса

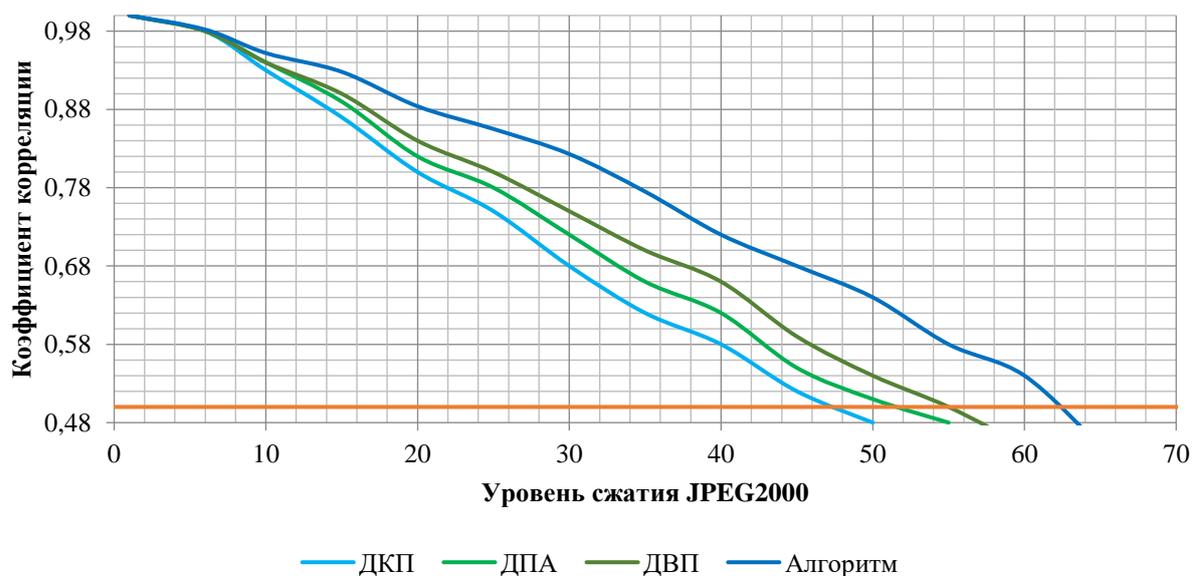


Рис. 3. Устойчивость стеганографических алгоритмов к сжатию JPEG2000

Исследование незаметности встраивания ЦВЗ осуществлялось для контейнеров с различной величиной яркости. При высоком значении яркости изображения качество стегоконтейнера считается удовлетворительным, если величина PSNR составляет более 40 дБ. Зависимость величины PSNR от величины усиливающего коэффициента показана на рис. 4.

Можно сделать вывод, что усиливающий коэффициент, меньший или равный четырем, вносит допустимую величину артефактов в контейнер. Для увеличения незаметности встраивания ЦВЗ следует использовать вышеуказанные значения усиливающего коэффициента.

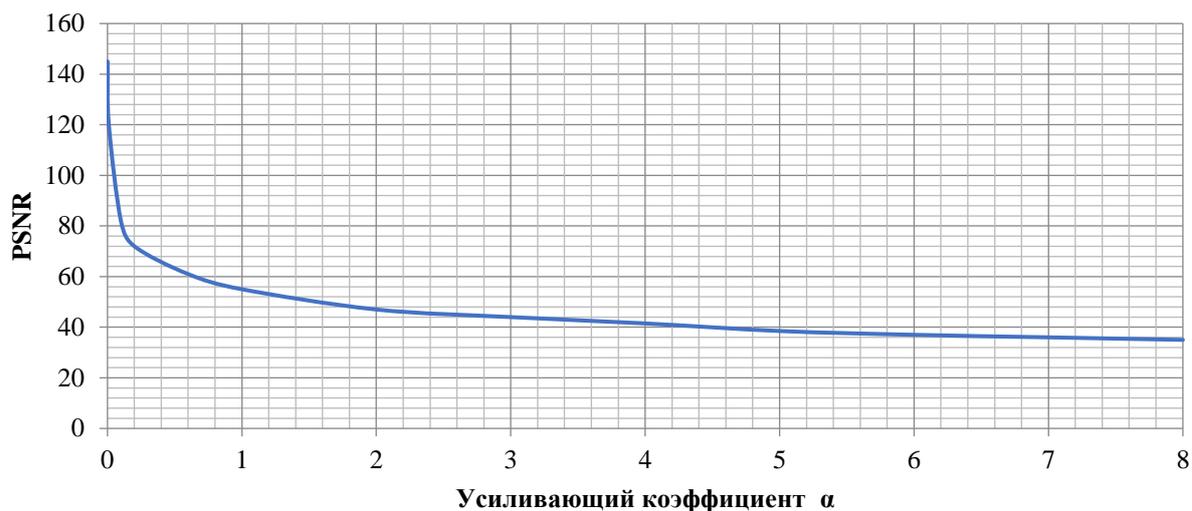


Рис. 4. Зависимость PSNR от усиливающего коэффициента

Выводы

Разработанный алгоритм стеганографии позволяет внедрять ЦВЗ в неподвижные изображения, обладая повышенной устойчивостью к вредоносным воздействиям по сравнению с существующими алгоритмами и приемлемым уровнем величины артефактов изображения. Реализация стеганографического алгоритма может быть использована в сфере защиты авторского права на мультимедийную продукцию.

Литература

1. Грибунин В.Г. Цифровая стеганография. М.: Солон-Пресс. 2009. 265 с.
2. Sarkar A., Solanki K. Obtaining higher rates for steganographic schemes while maintaining the same detectability // Information Hiding, 12th International Workshop. 2010. V. 6387. P. 178–192.
3. Xin S. Digital Watermarking Based on Fast Independent Component Analysis and Discrete Wavelet Transform // Proceedings of the 2009 International Conference on Computational Intelligence and Security. 2009. V. 2. P. 341–343.
4. Конахович Г.Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика. К.: МК-Пресс. 2006. 288 с.



Радченко Владислав Дмитриевич

Год рождения: 1996

Университет ИТМО,

факультет систем управления и робототехники,

студент группы R42201,

направление подготовки: 24.04.01. – Технологии интроскопии,

e-mail: 284085@niuitmo.ru

УДК 371.693.2

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

В.Д. Радченко

Научный руководитель – д.т.н., доцент А.В. Федоров

Аннотация

В настоящее время применение виртуальной реальности в учебно-тренировочных средствах пользуется широкой популярностью как предполагаемый путь развития формата образования в обучении технических специалистов. В работе содержится информация о стадии разрабатываемого программного обеспечения симуляции кабины обслуживания стартового комплекса «Союз» в виртуальной реальности для обучения технических специалистов. Определены предполагаемые параметры для оценки усвоения обучаемыми учебного материала с использованием традиционного и виртуального методов и метрики для их дальнейшего сравнения.

Ключевые слова: виртуальная реальность, образование, технические специалисты, обслуживание, ремонт, космическая техника.

Введение

Модель интерактивного обучения наиболее предпочтительна и применима для учебно-тренировочных средств (УТС) в обучении и тренировке специалистов по эксплуатации, управлению и обслуживанию авиационной, морской, военной и космической техники. В УТС имитируется работа системы управления с помощью специальных моделей, реализованных в программном обеспечении (ПО) вычислительного комплекса УТС. Так, применение УТС в обучении – это отечественный и зарубежный опыт решения проблемы минимизации негативного влияния ошибочных действий высококвалифицированного специалиста. К сожалению, существующие системы УТС не охватывают в полной мере обучение специалистов, занимающихся обслуживанием и ремонтом авиационной, морской и военной техники – это означает отсутствие комплексного решения проблемы на сегодняшний день, не говоря о том, что такие системы УТС дороги в содержании, сложны в эксплуатации и практически не обновляемы. Логичным продолжением совершенствования УТС для устранения имеющихся недостатков является применение технологии виртуальной реальности. Преимуществом такого решения: дешевизна, простота в эксплуатации, доступность, применяемость в дистанционном обучении, к тому же на одном тренажере может быть реализовано одновременно несколько различных программных обеспечений [4, 5].

Архитектура построения и состав учебно-тренировочного средства

Применение виртуальной реальности в УТС определяет класс тренажера как динамическое УТС [1,] для которого характерно существование математической модели процессов. Архитектура построения таких УТС, на рис.1.

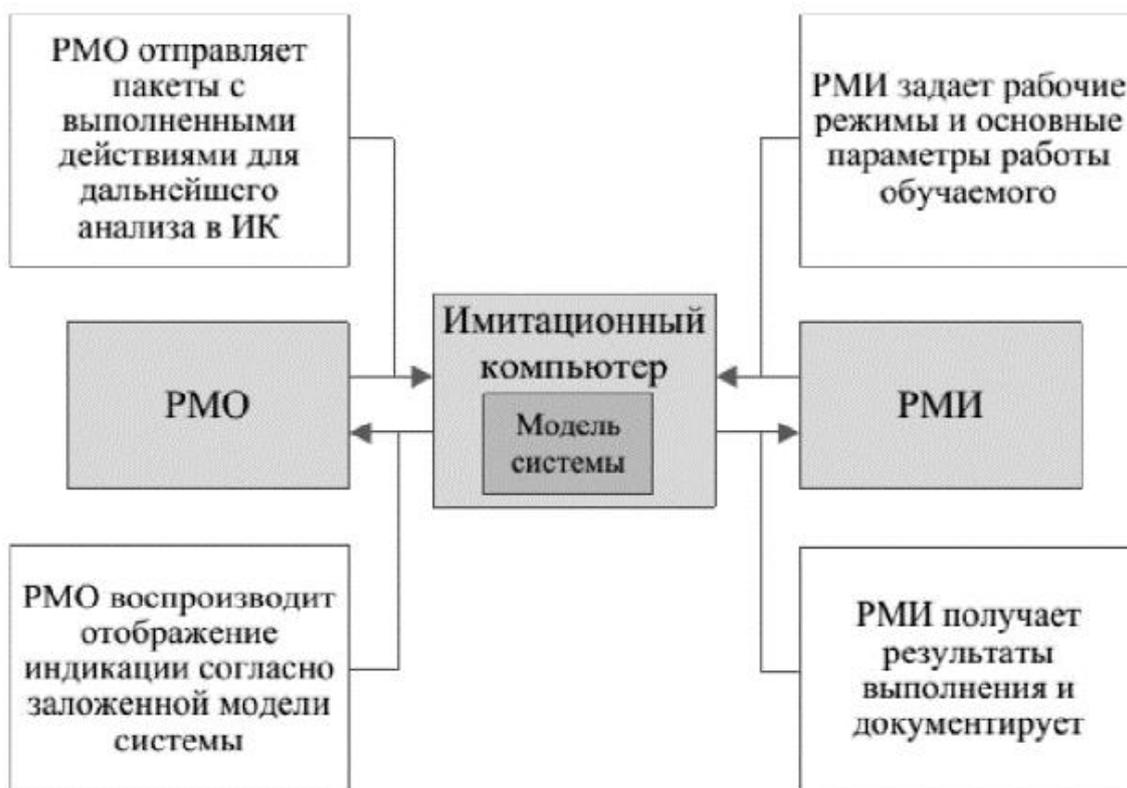


Рис. 1. Архитектура построения динамического УТС

Рабочее место обучаемого (РМО) позволяет обучающемуся свободно передвигаться в пространстве с шлемом виртуальной реальности, манипулировать органами управления способом, приближенным или идентичным используемому в реальном процессе. Динамический отклик тренажера должен быть максимально приближен к отклику систем и компонентов реального объекта.

Рабочее место инструктора (РМИ) позволяет отслеживать происходящее в шлеме виртуальной реальности на мониторе имитационного компьютера, выбирать сценарий тренировки и начальное состояние имитируемого процесса, вводя свои моделируемого процесса или его компонентов либо изменяя внешние факторы. Часть функций инструктора может автоматически выполнять и сам имитационный компьютер.

Состав программных модулей разрабатываемого УТС на основе виртуальных интерактивных (ВИ) средств должен включать в себя ПК с ПО ВИ УТС, шлем виртуальной реальности (VR), контроллеры и позиционные сенсоры или устройства трекинга (ИК камеры, подключенные к ПК, ИК камеры на шлеме, ИК устройства, сканирующие помещение) и гарнитуры (пояс и ноги) на первых этапах проектирования, и только наличие комплекта виртуальной реальности и ПО на втором этапе.

В обучении специалистов технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) в качестве учебного материала используется имитация технологического процесса эксплуатации изделия на авиационном, морском или космическом предприятии.

Технологический процесс эксплуатируемого изделия можно разделить на два основных этапа:

1. Применение изделия по назначению, определенного в технической документации к изделию, либо системе.

2. Регламенты, которые предписаны, при техническом обслуживании и ремонте изделия.

Следовательно, в качестве информации об изделии, эксплуатации которого обучается пользователь в ВИ УТС, будет:

1. Получение информации о составе изделия и его назначения, а также принципе работы, если того требуется в технической документации к изделию.

2. Регламенты технического обслуживания, в том числе информация об источнике и причине возникновения отказа, способы устранения причины неисправности.

Структурная схема организации информационного потока разрабатываемого средства технической подготовки специалистов показана на рис. 2.

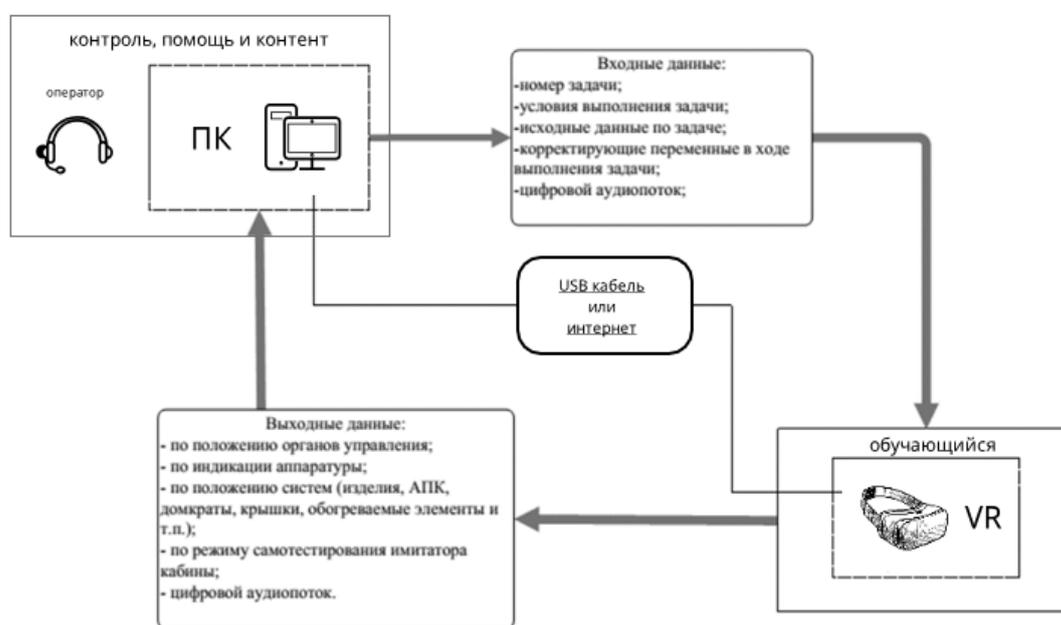


Рис. 2. Схема организации информационных потоков

Измеряемые параметры и рассчитываемые метрики

Ключевой исследовательский вопрос в разработке ПО для обучения специалистов ТО и Р в виртуальной реальности: каким образом оценить усвоение учебного материала, полученный профессиональный опыт, и как сравнить полученные результаты с традиционным методом обучения. Для этого необходимо использовать параметры усвоения учебного материала в процессе обучения и метрики для их сравнения.

В задачах машинного обучения [2] для оценки качества «обученных» моделей и сравнения различных алгоритмов используются различные метрики, а их выбор и анализ зависит от типа задачи. Перед тем, как определиться с метриками оценивания усвоения учебного материала, необходимо определить измеряемые параметры, которые можно измерить в процессе обучения с использованием как традиционного метода, так и виртуального метода. Предлагается измерять следующие параметры:

1. True Positive (TP), True Negative (TN) - истинное утверждение и отрицание соответственно.

2. False Negative (FN) - если факт отрицается, а на самом деле есть — ошибка 2-го рода.

2. False Positive (FP) - факт утверждается, на самом деле ничего не произошло — ошибка 1-го рода;

3. Время одной полной сессии – это время прохождения одной сессии пользователем от начала сессии до ее завершения (выполнения всех действий) без прерывания сессии.

На основе использования данных параметров предлагается рассчитывать следующие метрики:

1. Доля правильных ответов - количество правильных ответов на общее количество ответов (1):

$$\text{Доля правильных ответов} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FN+FP}. \quad (1)$$

2. Точность - доля объектов/действий названных обучающимися положительными (верными ответами) и при этом действительно являющимися положительными (2):

$$\text{Точность} = \frac{TP}{TP + FP}. \quad (2)$$

3. Полнота - доля объектов/действий, положительного класса (относящихся к верным ответам) из всех объектов/действий положительного класса, который нашел обучающийся (3):

$$\text{Полнота} = \frac{TP}{TP + FN}. \quad (3)$$

4. F1 оценка - сочетание «полноты» и «точности» (4), дает некоторый компромисс между ними двумя, оценка F1 достигает своего наилучшего значения в приближении 1 и худшее в 0:

5.

$$\text{F1 оценка} = 2 * \frac{\text{Полнота} * \text{Точность}}{\text{Полнота} + \text{Точность}}. \quad (4)$$

6. Среднее время сессии - усредненное время полного прохождения тренировочной сессии, обучающимся (5):

7.

$$\text{Среднее время сессии} = \frac{\text{Время сессии}}{\text{Количество сессий}}. \quad (5)$$

Обучаемый при выборе правильного ответа ведет себя как классический классификатор, предсказывающий тип данных из заданного множества вариантов, например, да/нет/не уверен.

Выведен порог допустимых значений измеряемых параметров и рассчитываемых метрик, при ориентире на то, что количество ошибок специалиста в учебной сессии, обучаемого обслуживанию техники, должно быть сведено в минимум. Не допускается больше 5% ошибок во время одной учебной сессии. Допустимый предел метрик «Доля правильных ответов» и «F1 оценка», по которым можно считать, что обучающийся завершил освоение материала успешно ~ 95-100%. Возможный предел этих значений «Доля правильных ответов» и «F1 оценка» ~ 0 -100%.

Время сессии зависит от количества и сложности действий, а также времени ожидания, при этом нижний предел не может быть ≤ 0 и не ≥ 2 учебных часов без перерыва.

Обзор разрабатываемого программного обеспечения

Для научного исследования разрабатывается симуляция кабины обслуживания (КО) стартового комплекса (СК) «Союз» [3] в виртуальной реальности. В качестве среды разработки выбран игровой движок Unity, а в качестве комплекта виртуальной реальности для разработки и тестирования – шлем Oculus Rift S и комплект прилагаемых контроллеров. Минимальные требования для ПК определены начинкой шлема, под который разрабатывается ПО. Модель КО СК разработана, экспортирована в игровой движок и прошла этап верификации и наложение текстур/шейдеров для улучшения визуальной картинки. Верификация импортированной модели в Unity проведена по ряду тестов, которые разработаны для КО на производстве. Импортированная модель КО применима в разработке обучающего ПО в виртуальной реальности.

Заключение

В работе был рассмотрен принцип и архитектура построения ВИ УТС, состав программных модулей УТС, проведен анализ технологических процессов для определения структуры информации в ВИ УТС. Предложены метрики для оценки усвоения учебного материала обучаемым и измеряемые параметры для расчета этих метрик. Приведена информация о готовности ПО симуляции кабины обслуживания (КО) стартового комплекса (СК) «Союз» в виртуальной реальности, на которой в дальнейшем можно будет проверить гипотезы применимости для оценки усвоения учебного материала описанных в работе.

Ожидается, что следующий этап по разработке ПО УТС включает в себя: добавление перемещения пользователя в VR шлеме по импортированной модели, демонстрация сбора / разбора агрегата по инструкции, улучшение окружения и обработки игровой сцены, добавление эффектов освещения и теней.

Литература

1. Кашин В.М., Белов В.В., Власов Н.Н., Водиченков Д.А. / Принципы построения учебно-тренировочных средств и опыт создания тренажера оперативно-тактического ракетного комплекса // ISSN 1995-4565. Вестник РГРТУ. 2016. № 57 – 94-104 стр.
2. Powers David M. W. "Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation" (PDF). Journal of Machine Learning Technologies. 2: pp. 37–63. December 2007.
3. Руководство по эксплуатации. Кабина обслуживания 373У034 в 3-х частях.
4. Свиридов С.Г., Пеньков Н.А., Митрофанов Д.В. / Внедрение технологий виртуальной реальности в процесс подготовки военных специалистов // Воинское обучение и воспитание, военная педагогика и психология / «Воздушно-космические силы. Теория и практика» № 4- УДК 371.693.2. 2017. 151-178 с.
5. Лосев Е.Ф., Кузнецов И.В. / Тренажерно-обучающий комплекс для моделирования виртуальной реальности боевого применения оружия и технических средств корабля // Программные продукты и системы / Software & Systems. УДК 371.693.4. 2015. 152-159 с.



Роеико Денис Владиславович
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы №N41505с,
направление подготовки: 10.04.01 – Информационная
безопасность,
e-mail: roenko.dv@gmail.com

УДК 004.056

АНАЛИЗ АКТУАЛЬНЫХ УЯЗВИМОСТЕЙ В ИСХОДНЫХ КОДАХ ПРОЕКТОВ НА ЯЗЫКЕ С# И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Д.В. Роеико

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Меншиков

Аннотация

В работе рассматриваются актуальные уязвимости проектов на языке программирования С#, такие как SQL-инъекции, OS-инъекции, LDAP-инъекции, межсайтовый скриптинг (XSS) и обход каталогов (Path Traversal). Приведены примеры данных недостатков безопасности приложений в исходном коде С#, а также предложены методы их устранения.

Ключевые слова

Уязвимость, язык программирования С#, инъекция, исходный код, фильтрация пользовательского ввода, CWE, OWASP.

С# – это объектно-ориентированный язык программирования, разработанный в 2000 году компанией Microsoft. С 2012 года С# входит в пятёрку наиболее популярных языков программирования по рейтингам TIOBE и PYPL, которые основаны на количестве поисковых запросов, связанных с языками программирования [1, 2]. Компания Stack Overflow в феврале 2020 года провела опрос 65 тысяч разработчиков с целью получения данных об используемых ими языках программирования, баз данных и фреймворков. В этом опросе С# занял 7-ое по популярности место среди языков программирования, сценариев и разметки [3]. По данным об использовании языков программирования в репозиториях GitHub за 2020 год, С# находится на 5-ом месте [4].

В связи с высокой популярностью и распространённостью языка С# стоит уделять особое внимание проверке кода на возможные уязвимости. Поэтому целью доклада стал анализ актуальных уязвимостей С# проектов. Будет рассмотрено несколько наиболее частых уязвимостей, а также предложены методы их устранения.

Одними из наиболее распространённых классов уязвимостей, занимающими первую строчку списка OWASP Top 10, являются инъекции различного рода, такие как SQL-инъекции, инъекции команд файловой системы (OS-инъекции) и LDAP-инъекции. Кроме того, по данным из отчёта компании Contrast Security за 2020 год, одними из наиболее частых уязвимостей в .NET приложениях (рис. 1) являются недостатки контроля доступа, межсайтовый скриптинг, инъекции команд, инъекции языка выражений [5].

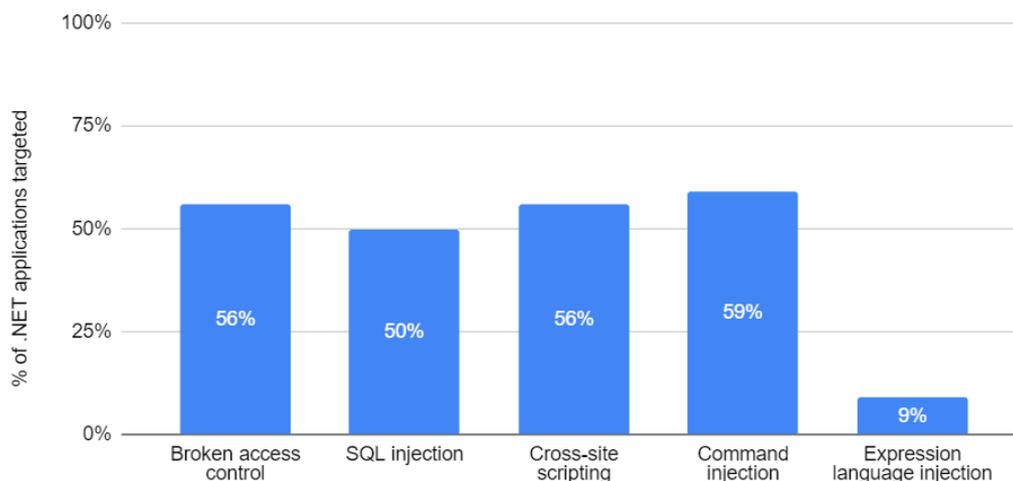


Рис. 1. Процент .NET приложений, подвергшихся атакам на определенные уязвимости (по данным компании Contrast Security)

SQL-инъекция заключается во внедрении в запрос произвольного SQL кода. Так, например, для примера кода, приведённого на рис. 2, пользовательский ввод вида «'; INSERT INTO Users (Username, Email, Password) VALUES ('HACKER', 'hacker@gmail.com', 'password'); --» приведёт к добавлению нового пользователя в базу данных. Однако злоумышленник может выполнить абсолютно любой запрос к базе данных, полностью контролируя её.

Наличие уязвимости CWE-89 (SQL injection) может привести к реализации следующих угроз:

- угроза конфиденциальности: базы данных часто содержат конфиденциальные данные, которые могут быть получены злоумышленником;
- угроза обхода контроля доступа: она возможна, если уязвимые SQL-команды используются для аутентификации пользователя или информация для авторизации хранится в базе данных;
- угроза целостности: возможно изменение или удаление информации в базе данных [7].

```
// SQL injection vulnerability!  
string username = Console.ReadLine();  
string query = "SELECT Email FROM Users WHERE Username='" + username + "'";  
  
SqlCommand command = new SqlCommand(query, connection);  
SqlDataReader reader = command.ExecuteReader();  
while (reader.Read())  
    Console.WriteLine("{0}", reader.GetString(0));
```

Рис. 2. Пример кода, содержащего SQL-инъекцию

Для защиты от SQL-инъекции рекомендуется применять параметризованные запросы (рис. 3) или использовать ORM-системы, исключающие необходимость написания SQL запросов [6].

```
// Use parameterized queries
string username = Console.ReadLine();
string query = "SELECT Email FROM Users WHERE Username=@Username";

SqlCommand command = new SqlCommand(query, connection);
command.Parameters.AddWithValue("@Username", username);

SqlDataReader reader = command.ExecuteReader();
while (reader.Read())
    Console.WriteLine("{0}", reader.GetString(0));
```

Рис. 3. Пример использования параметризованного запроса

Внедрение произвольного кода в команды операционной системы называется OS-инъекцией. В C# функция `Process.Start()` может запустить любую системную команду. Если в пользовательский ввод примера на рис. 4 передать строку «`user & cd d:/Users & del /f/q/s *.* > NUL`», то будут удалены все файлы пользователей из папки `Users`.

```
string username = Console.ReadLine();

// OS injection vulnerability!
Process process = Process.Start("cmd.exe", @"/c mkdir D:\Users\" + username);
process.WaitForExit();
```

Рис. 4. Пример кода, содержащего OS-инъекцию

Наличие уязвимости CWE-78 (OS injection) может привести к реализации угроз конфиденциальности, целостности, доступности и неотказуемости. Злоумышленники от лица уязвимого приложения могут выполнять неавторизованные команды, которые затем могут использоваться для отключения программного обеспечения или чтения и изменения данных, к которым у злоумышленника нет прав доступа напрямую [8].

Для устранения OS-инъекции стоит использовать специальные функции C# для работы с операционной системой, например, для создания папки (рис. 5). Необходимо избегать использования функции `Process.Start()`, а если это невозможно – фильтровать специальные символы в пользовательском вводе [6].

```
string username = Console.ReadLine();

// Use special functions & argument checking
if (Regex.IsMatch(username, "^[A-Za-z0-9.]{1,20}$"))
    Directory.CreateDirectory(@"D:\Users\" + username);
```

Рис. 5. Фильтрация ввода, для исключения OS-инъекции

LDAP – это протокол прикладного уровня для доступа к службе каталогов. Он позволяет производить операции аутентификации, поиска и сравнения, а также операции добавления, изменения или удаления записей. Сервер LDAP содержит специализированную базу данных, хранящую учётные данные пользователей и компьютеров. Приложение может обращаться к этой базе с помощью специального LDAP-запроса. Если при построении этого запроса используется пользовательский ввод, который никак не фильтруется, возникает возможность реализации LDAP-инъекции (рис. 6).

```
string username = Console.ReadLine();
string password = Console.ReadLine();

DirectoryEntry de = new DirectoryEntry("LDAP://mycompany, DC=com");
DirectorySearcher searcher = new DirectorySearcher(de);

// LDAP injection vulnerability!
searcher.Filter = "&(uid=" + username + ")(password=" + password + "));";
SearchResult sresult = searcher.FindOne();
```

Рис. 6. Пример кода, содержащего LDAP-инъекцию

Уязвимость CWE-90 (LDAP injection) позволяет злоумышленнику реализовать угрозы конфиденциальности, целостности и доступности, поскольку он может выполнять непредусмотренные команды или код, читать или изменять конфиденциальные данные или вызывать другое непредусмотренное поведение [9].

Для защиты от LDAP-инъекции достаточно экранировать специальные символы в запросе с помощью функции `Encoder.LdapFilterEncode()` из библиотеки `AntiXSS` языка C# (рис. 7) [6].

```
string username = Console.ReadLine();
string password = Console.ReadLine();

DirectoryEntry de = new DirectoryEntry("LDAP://mycompany, DC=com");
DirectorySearcher searcher = new DirectorySearcher(de);

// Use LDAP filter encoding
string filter = Encoder.LdapFilterEncode("&(uid=" + username + ")(password=" + password + "));");
searcher.Filter = filter;
SearchResult sresult = searcher.FindOne();
```

Рис. 7. Использование фильтрации LDAP-запроса

Помимо инъекций, в C# проектах распространены уязвимости межсайтового скриптинга и обхода каталогов [10].

Межсайтовый скриптинг (XSS) – это уязвимость, заключающаяся во внедрении произвольного JavaScript кода, взаимодействующего с сайтом злоумышленника, на веб-страницу. Данный код выполняется непосредственно в браузере пользователя, который посетит заражённую страницу. Эксплуатация данной уязвимости возможна, когда текст из формы пользовательского ввода без обработки вставляется на страницу или URL-адрес сайта.

В фреймворке ASP.NET Core, позволяющем создавать web-приложения с использованием языка C#, имеется встроенная защита от XSS, кодирующая символы HTML-тегов, что не даёт вставить тег `<script>` на страницу. Однако иногда разработчиками применяется конструкция `@Html.Raw(html)`, позволяющая поместить HTML-код на странице в неизменном виде, что приводит к возникновению уязвимости (рис. 8).

Уязвимость CWE-80 (Basic XSS) может привести к реализации угроз конфиденциальности, целостности и доступности, поскольку атака с использованием данной уязвимости в основном используется для хищения файлов cookie пользователя с целью несанкционированной аутентификации. Кроме того, злоумышленник может свободно манипулировать содержимым уязвимой web-страницы [11].

```
<p>Comments List:</p>
@if (Model != null)
{
    @foreach (var comment in Model)
    {
        <p>
            <b>@comment.Author:</b>
            @* XSS vulnerability! *@
            <i>@Html.Raw(comment.Text)</i>
        </p>
    }
}
```

Рис. 8. Фрагмент кода, содержащий уязвимость XSS

Во избежание возникновения XSS уязвимости следует отказаться от использования конструкции `@Html.Raw(html)`, если нет уверенности в том, что контент, размещаемый на странице, правильно экранирован. Для экранирования потенциально опасных пользовательских данных может применяться функция `Encoder.HtmlEncode()` из библиотеки `AntiXSS` языка `C#` (рис. 9) [6].

```
Comment comment = new Comment()
{
    Author = Name,
    Text = Encoder.HtmlEncode(Comment)
};

comments.Add(comment);

return View(comments);
```

Рис. 9. Экранирование комментария пользователя в `C#` коде

Целью уязвимости обхода каталогов является несанкционированный доступ к файлам и папкам системы. Злоумышленник может оперировать адресами каталогов, используя относительные переходы вида «`..`», чтобы попасть в целевую директорию. Так, например, если в приложении предусмотрен функционал чтения файла из пользовательской папки и ввод пользователя никак не фильтруется, то, используя конструкцию «`..\..\Documents\secret.txt`», возможно чтение файла, находящегося вне пользовательской директории (рис. 10).

```
string filename = Console.ReadLine();

// Path traversal vulnerability!
IEnumerable<string> lines = File.ReadLines(@"d:\Users\User1\" + filename);

foreach (string line in lines)
    Console.WriteLine(line);
```

Рис. 10. Фрагмент кода, содержащий уязвимость обхода каталогов

В зависимости от функции, предоставляемой приложением, уязвимость `CWE-22` (Path Traversal) может быть использована для чтения, модификации или удаления файлов, что наносит ущерб конфиденциальности, целостности и доступности приложения [12].

Для защиты приложения от обхода каталогов следует применять фильтрацию пользовательского ввода, вставляемого в файловые пути (рис. 11).

```
string filename = Console.ReadLine();
IEnumerable<string> lines = new List<string>();

// Use user input filtering
if (Regex.IsMatch(filename, "^[A-Za-z0-9.]{1,20}$"))
    lines = File.ReadLines(@"d:\Users\User1\" + filename);

foreach (string line in lines)
    Console.WriteLine(line);
```

Рис. 11. Фильтрация пользовательского ввода для защиты от обхода каталогов

В результате проведённого анализа были рассмотрены наиболее распространённые уязвимости в C# проектах, примеры атак, возможные угрозы и меры защиты.

Недопущение возникновения уязвимостей является залогом безопасности приложения и конфиденциальной информации, для этого необходим автоматизированный инструмент, способный с высокой точностью идентифицировать уязвимости. Поэтому в качестве направления дальнейшего исследования была выбрана разработка системы обнаружения уязвимостей в исходных кодах C# проектов с применением методов машинного обучения.

Существует достаточно много предпосылок для проведения такого исследования: присутствует положительный опыт применения алгоритмов машинного обучения для обнаружения уязвимостей в исходных кодах C/C++ или ассемблерных кодах, однако для C# подобных разработок на текущий момент нет. А появление в августе 2020 года датасета уязвимостей для этого языка позволяет сразу приступить к разработке алгоритма.

Литература

1. TIOBE Index for January 2021 [Сайт] / tiobe.com. URL: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (дата обращения: 27.01.2021).
2. PYPL PopularitY of Programming Language [Сайт] / pypl.github.io. URL: <https://pypl.github.io/PYPL.html> (дата обращения: 27.01.2021).
3. Stack Overflow Developer Survey 2020 [Сайт] / insights.stackoverflow.com/. URL: <https://insights.stackoverflow.com/survey> (дата обращения: 27.01.2021).
4. The 2020 State of Octoverse (GitHub) [Сайт] / octoverse.github.com. URL: <https://octoverse.github.com/> (дата обращения: 27.01.2021).
5. Contrast 2020 application security observability report [Сайт] / contrastsecurity.com. URL: <https://www.contrastsecurity.com/appsec-observability-report-promo> (дата обращения: 27.01.2021).
6. DotNet Security Cheat Sheet [Сайт] / cheatsheetseries.owasp.org. URL: https://cheatsheetseries.owasp.org/cheatsheets/DotNet_Security_Cheat_Sheet.html (дата обращения: 29.01.2021).
7. CWE-89: Improper Neutralization of Special Elements used in an SQL Command ('SQL Injection') [Сайт] / cwe.mitre.org. URL: <https://cwe.mitre.org/data/definitions/89.html> (дата обращения: 29.01.2021).

8. CWE-78: Improper Neutralization of Special Elements used in an OS Command ('OS Command Injection') [Сайт] / [cwe.mitre.org](https://cwe.mitre.org/data/definitions/78.html). URL: <https://cwe.mitre.org/data/definitions/78.html> (дата обращения: 29.01.2021).
9. CWE-90: Improper Neutralization of Special Elements used in an LDAP Query ('LDAP Injection') [Сайт] / cwe.mitre.org. URL: <https://cwe.mitre.org/data/definitions/90.html> (дата обращения: 29.01.2021).
10. Top .NET Vulnerabilities: SQL Injection, Path Traversal and Cross-Site Scripting, Says Security Firm [Сайт] / visualstudiomagazine.com. URL: <https://visualstudiomagazine.com/articles/2019/10/22/top-net-attacks.aspx> (дата обращения: 30.01.2021).
11. CWE-80: Improper Neutralization of Script-Related HTML Tags in a Web Page ('Basic XSS') [Сайт] / cwe.mitre.org. URL: <https://cwe.mitre.org/data/definitions/80.html> (дата обращения: 30.01.2021).
12. CWE-22: Improper Limitation of a Pathname to a Restricted Directory ('Path Traversal') [Сайт] / cwe.mitre.org. URL: <https://cwe.mitre.org/data/definitions/22.html> (дата обращения: 30.01.2021).



Татаров Дмитрий Александрович
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы N42512с,
направление подготовки: 10.04.01– Информационная безопасность,
e-mail: datatarov@itmo.ru



Меншиков Александр Алексеевич
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: menshikov@itmo.ru

УДК 004.021

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА НАБОРОВ ТРАНЗАКЦИЙ НА ОСНОВАНИИ СЦЕНАРИЕВ ПОВЕДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ

Д.А. Татаров

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Меншиков

Работа выполнена в рамках темы НИР №50449 «Разработка алгоритмов защиты киберпространства для решения прикладных задач обеспечения кибербезопасности организаций банковской сферы».

Аннотация

В работе был проведен поиск и сравнение существующих наборов банковских транзакций. Был предложен алгоритм генерации банковских транзакций пользователей на основании марковских процессов. В алгоритме генерации поведение пользователей банковской системы задается заранее созданными (вручную или автоматизированным средствами) сценариями.

Ключевые слова

Цепи Маркова, банковское мошенничество, генерация данных, поведенческий анализ, банковские транзакции.

В настоящее время при разработке методов, алгоритмов и систем детектирования аномалий в банковских транзакциях перед исследователями возникает следующая проблема: довольно сложно, а порой невозможно найти релевантные данные для обучения и тестирования разработанных методов.

Например, самая популярная платформа для соревнования исследователей в области машинного обучения Kaggle, по запросу «транзакции по банковским картам», отдает всего 5 наборов данных, из которых только три релевантны запросу.

Существующие наборы данных о транзакциях

В общем доступе было обнаружено 6 наборов данных о банковских транзакциях разного объема и содержания. В табл. 1 приведена сводная информация по найденным наборам данных. В столбце «Распределение», значение ячеек «Экспоненциальное*» обозначает наборы данных с выбросом в начальном диапазоне.

Таблица 1

Сводная информация по наборам данных из открытых источников

№	Количество параметров	Размер набора данных	Распределение	Происхождение
1	7	1 048 575	Экспоненциальное*	Неизвестно
2	9	1 056 322	Экспоненциальное*	Неизвестно
3	8	>1 000 000 000	Неизвестно	Основан на реальных данных
4	18	641 914	Экспоненциальное	Неизвестно
5	6	6 362 621	Экспоненциальное	Искусственно сгенерирован
6	6	594 644	Экспоненциальное	Искусственно сгенерирован на основании реальных данных

Наборы данных 1 и 2 включают в себя минимально необходимый набор параметров для анализа транзакций на предмет мошенничества и содержат достаточное количество записей для обучения, однако их недостатками является большая степень случайности, небольшое количество возможных значений параметров и отсутствие информации об отнесении транзакций к мошенническим [1, 2].

Набор данных 3 включает в себя достаточный набор параметров для анализа транзакций на предмет мошенничества, также включает в себя описание пользователей по 18 параметрам (фамилия и имя; дата рождения; страна; штат; город; почтовый индекс и домашний адрес проживания; дата регистрации и дата открытия счета; дата закрытия счета; фактор риска), и описания банка по 8 параметрам (название; юридическое расположение филиала и основного офиса; географическое расположение основного офиса; срок действия лицензии). В открытом доступе находится только пример данных, состоящий из десяти записей. Полный набор данных распространяется по подписке от 1000 долларов в год [3].

Набор данных 4 включает в себя избыточный набор параметров для анализа транзакций на предмет мошенничества, однако его недостатками являются большая степень случайности, небольшое количество типов транзакций и небольшой размер набора данных [4].

Набор 5 является искусственно сгенерированным набором данных мобильных переводов с небольшим числом параметров [5].

Набор данных 6 включает в себя минимально необходимый набор параметров для анализа транзакций на предмет мошенничества, сгенерирован на основании транзакций существующего банка в Испании, однако имеет относительно небольшой размер [6].

Пример сценария поведения пользователей

Для формирования требований к необходимым данным требовалось разработать схематичные сценарии поведения пользователей, которые бы моделировали как нормальное, так и аномальное поведение пользователей в системе ДБО. Набор сценариев позволяет производить генерацию дополнительных данных о транзакциях как в ручном,

так и в автоматическом режиме, сохраняя статистические распределения и добавляя необходимую вариативность.

Было создано несколько сценариев поведения пользователей, включающих в себя как поведение мошенника, так и легитимного пользователя.

Сценарий может определять модель поведения пользователя, которая является для него нормальной, например: пользователь проживает в Северо-Западном федеральном округе (СЗФО), имеет низкий доход, сумма транзакций редко превышает 1000 рублей, пользуется банковскими услугами в будние дни в рабочее время, путешествует по России и в странам Прибалтики. Отклонения от сценария являются признаком мошеннической активности. Примеры разработанных сценариев приведены в табл. 2.

Таблица 2

Примеры сценариев поведения пользователей

Параметр	Сценарий 1		Сценарий 2	
	Нормальный	Мошеннический	Нормальный	Мошеннический
Дата	Будние дни	Обратная нормальной	Все понедельники, среды и пятницы	Субботы и воскресенья
Время	От 07:00 до 15:00 UTC	Больше или меньше нормального на 40 мин.	От 11:00 до 17:00 UTC	Больше или меньше нормального на 30 мин.
Сумма транзакции	От 100 до 1000	Больше или меньше нормальной на 20 %	от 10 до 1500	Больше или меньше нормальной на 20%
Валюта транзакции	RUB	Обратная нормальной	EUR, USD	Обратная нормальной
Тип транзакции	Оплата, внесение наличных, рекуррентная оплата	Блокировка, рекуррентная блокировка, перевод с карты на карту, снятие наличных	Оплата, внесение наличных, снятие наличных	Блокировка, рекуррентная блокировка, перевод с карты на карту, рекуррентная оплата
Геопозиция	Россия, Финляндия, Эстония	Обратная нормальной	Франция, Великобритания	Обратная нормальной
Устройство, с которого совершена транзакция	Банкомат, POS-терминал	ДБО	Банкомат, ДБО	POS-терминал
Результат операции	Успешно, недостаточно средств	Карта заблокирована, карта не существует	Успешно	Карта заблокирована, карта не существует, недостаточно средств

Генерация данных

Для генерации данных применяется имитационное моделирование – метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Такую модель можно построить во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться

случайным характером процессов. По этим данным можно получить достаточно устойчивую статистику.

Имитационное моделирование можно рассматривать как разновидность экспериментальных испытаний. В отличие от прототипа системы, имитационная модель менее затратна, позволяет проводить эксперименты, меняя ключевые параметры системы, а также она динамична (может описывать поведение во времени).

Генерация данных позволяет обучать и тестировать алгоритмы на данных, которые в данный момент невозможно собрать или передать третьим лицам. Также генерация позволит избежать обезличивания данных в случаях предоставления данных лицам, не имеющим доступа к данным держателей карт. Генерация данных позволяет, например, обучить модель на данных из сервиса, находящегося в разработке, или предоставить сторонним организациям и недоверенным лицам для проведения тестирования систем распознавания мошенничества.

Можно выделить несколько подходов к генерации данных о транзакциях и о поведении пользователя в мобильных и веб-приложениях систем интернет-банка.

Подходы к генерации отличаются уровнем сложности и вариативности сценариев генерации. Так, в наивном подходе к генерации осуществляется лишь запись случайных значений из заданных диапазонов; сценарный подход – значения формируются в пределах, которые заданы разработанными вручную сценариями; более сложные комбинированные подходы (например, основанный на марковских моделях) позволяют использовать сложные и реалистичные сценарии с большой вариативностью результатов, а также сохранением логики поведения. На рис. 1 представлен сводный алгоритм генерации данных.

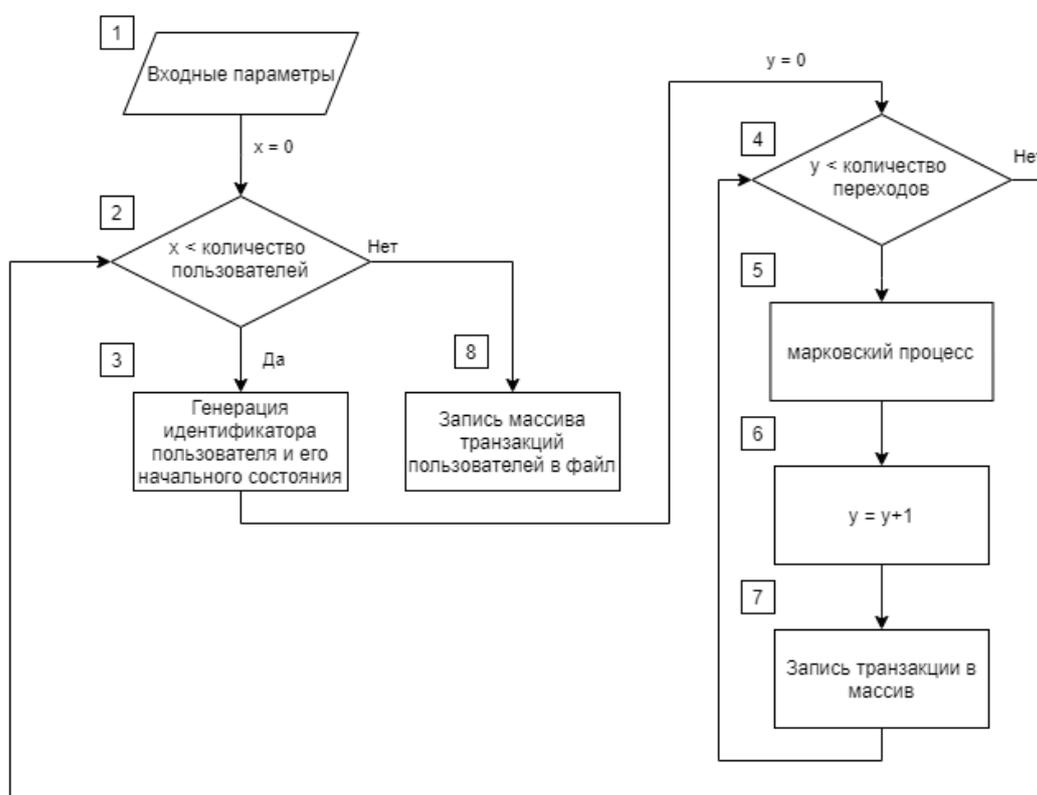


Рис. 1. Алгоритм генерации транзакций

Наивный генератор представляет собой генератор, который в результате работы выдает псевдослучайный набор данных из изначально заданных диапазонов.

Транзакции, сгенерированные на основании данного алгоритма, будут иметь высокую степень случайности и не будут зависеть друг от друга.

На первом шаге алгоритма, приведенного на рис. 1, входными параметрами являются диапазоны возможных значений параметров, количество генерируемых пользователей и количество генерируемых транзакций для каждого пользователя. На пятом шаге из заданных диапазонов для каждого параметра случайным образом выбираются значения.

Алгоритм сценарного генератора использует в своей основе предварительно заданные сценарии поведения пользователей. Данные сценарии определяют возможные значения того или иного поля (например, валюту, сумму, время и др.), а также связь транзакций между собой (например, не более 6 транзакций в сутки для одного пользователя). Однако транзакции, сгенерированные данным алгоритмом, не учитывают порядок действий пользователей (пользователь не может открыть счет в банке и сразу же снять с него денежные средства), а также данные все равно будут иметь высокую степень случайности.

В случае алгоритма сценарного генератора на первом шаге (алгоритм представлен на рис. 1) входными параметрами являются диапазоны возможных значений параметров, количество генерируемых пользователей, количество генерируемых транзакций для каждого пользователя, а также сценарии поведения и номер сценария, который будет использоваться для генерации. На пятом шаге из заданных сценариями диапазонов для каждого параметра случайным образом выбирается значение.

Алгоритм сценарного генератора с марковскими цепями представляет собой сценарный алгоритм, в котором процесс генерации реализован на марковских моделях. На первом шаге (алгоритм представлен на рис. 1) входными параметрами являются диапазоны возможных значений параметров, количество генерируемых пользователей, количество генерируемых транзакций для каждого пользователя, а также номер сценария поведения с таблицей вероятностей переходов в новые состояния. На третьем шаге также случайно генерируется исходное состояние марковского процесса. На пятом шаге происходит марковский процесс генерации транзакций. Пример такого процесса можно увидеть на рис. 2, где числа – это вероятность перехода из одного состояния в другое, а узлы – это состояния процесса.

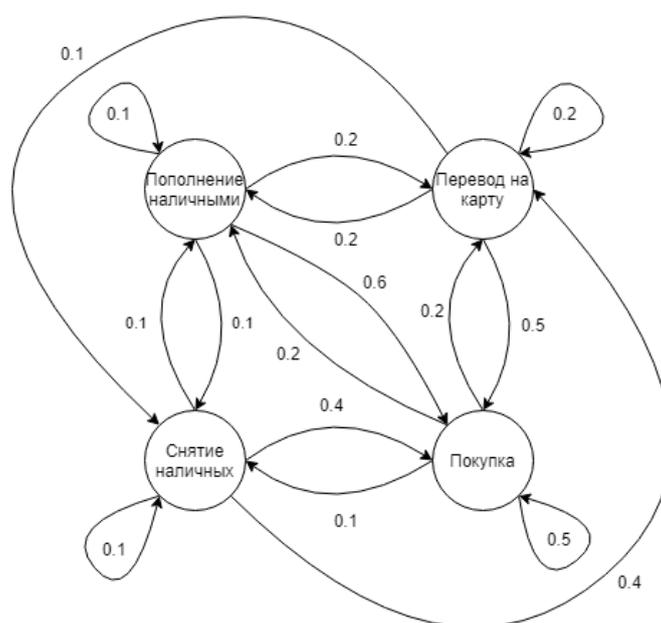


Рис. 2. Пример марковского процесса генерации данных

Достоинство марковских моделей состоит в том, что текущий этап генерации зависит только от предыдущего и не учитывает всю предшествующую цепочку. Данный алгоритм устраняет все недостатки предыдущих алгоритмов: транзакции становятся логически связаны, а их степень случайности описана в графе переходов.

Предложенный алгоритм можно использовать не только для генерации транзакций, а также для генерации любых типов данных, например поведения пользователей в банковской системе.

Литература

1. Ferreira L. Retail Banking-demo-data [Электронный ресурс] // kaggle.com, 2020. URL: <https://www.kaggle.com/kabure/retail-bankingdemodata> (дата обращения: 01.12.2020).
2. PRANATI, Predict Loan defaulters [Электронный ресурс] // kaggle.com, 2020. URL: <https://www.kaggle.com/pranati25/predict-loan-defaulters?select=trans.txt> (дата обращения: 01.12.2020).
3. Banking | Datasets | Demo Data [Электронный ресурс] // demodata.ai, 2020. URL: <https://demodata.ai/banking> (дата обращения: 01.12.2020).
4. Dery Kurniawan, Credit card transaction [Электронный ресурс] // kaggle.com, 2020. URL: <https://www.kaggle.com/derykurniawan/credit-card-transaction> (дата обращения: 01.12.2020).
5. Synthetic Financial Datasets For Fraud Detection [Электронный ресурс] // kaggle.com, 2016. URL: <https://www.kaggle.com/ntnu-testimon/paysim1> (дата обращения: 01.12.2020).
6. Synthetic data from a financial payment system [Электронный ресурс] // kaggle.com, 2017. URL: <https://www.kaggle.com/ntnu-testimon/banksim1> (дата обращения: 01.12.2020).



Темирбеков Альден
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы R41415с,
направление подготовки: 27.04.04 – Управление
в технических системах,
e-mail: temirbekovalden@gmail.com



Борисов Олег Игоревич
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент,
e-mail: borisov@itmo.ru

УДК 681.516

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОРОШКОВОЙ ПОКРАСКИ

А. Темирбеков

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.И. Борисов

Аннотация

В работе рассмотрена автоматизированная линия порошковой покраски, включающая в себя пульт управления, устройство подачи порошка, камеру напыления, рекуператор, печь полимеризации, автоматическую сенсорную систему и робота-распылителя. Такая автоматизированная линия обладает множеством преимуществ, позволяющих идти в ногу с быстрыми сроками выполнения работ, не жертвуя качеством.

Ключевые слова

Технология порошковой покраски, автоматизированная система, алгоритмы управления, робот-распылитель.

Порошковое покрытие является одним из самых популярных методов отделки, доступных для металла, пластика и других материалов. Он долговечен, экономичен и универсален. Это способствует бурному развитию данной технологии, роботизации и внедрению инновационных методов управления. Одним из главных направлений развития этой отрасли является разработка полностью автоматизированной линии порошковой окраски, оптимизированной под широкий спектр сложных изделий. Основными требованиями к такой системе являются универсальность, быстрая настройка, легкая управляемость, оперативность, минимальное число ошибок и задержек, высокое качество при большом объёме и исключение человеческого труда [1].

Покрытие порошковой краской - процесс сухой отделки, в котором используются тонко измельченные полимерные гранулы, которые электростатически заряжены и распыляются на электрически заземленные детали. Заряженные частицы порошка

прилипают к детали и удерживаются там до плавления в однородный слой в печи полимеризации. Данный метод применяется для окрашивания любых жаропрочных поверхностей, преимущественно из металлов [2].

В данной технологии имеются аэродинамические и электростатические явления, осложняющие процесс нанесения порошка на поверхность заготовки [3]:

- *обратная ионизация* возникает из-за излишнего тока свободных ионов от зарядных электродов распылительного оборудования. Свободные ионы, попадая на деталь с порошком, прибавляют свой заряд к заряду, накопившемуся на нанесённом слое. Положительные ионы выходят за пределы порошковой краски, они притягиваются к отрицательно заряженным частицам порошка, непрерывно поступающим на поверхность заземлённой части. Соударение положительных ионов и отрицательно заряженных частиц приводит к тому, что частицы порошка теряют свой заряд и, следовательно, способность к осаждению,

- *электростатическое обтекание* – свойство заряженного порошка оседать на поверхностях изделий, не находящихся непосредственно в силовом поле. Обтекание является одновременно электростатическим и аэродинамическим явлением. Крупные частицы порошка имеют тенденцию пролетать у краев, не осажаясь на изделия, а мелкие частицы покидают поток воздуха под действием сил электростатического напряжения и оседают на задней стороне детали,

- *эффект клетки Фарадея* наблюдается в тех случаях, когда наносят порошковую краску на детали с выемками, углами, углублениями или выступами на поверхности, куда внешнее электрическое поле (созданное распылителем или пространственным зарядом) не проникает.

В связи с этим задачей автоматизации является регулирование управляющих параметров пистолета-распылителя: напряжения заряда, электрического тока, воздушного потока, расстояния от сопла пистолета до изделия, скорость движения конвейерной линии и позиционирование робота-распылителя. Кроме того, должны быть правильно подобраны факел распылителя, угол наклона и определены труднодоступные участки окрашивания. Правильно конфигурируемые параметры и адаптивная система управления позволят добиться требуемого качества поверхности, декоративности внешнего вида, оптимальной толщины слоя, минимизации брака и сокращению производственного цикла.

В качестве примера рассмотрим простую конвейерную систему порошковой покраски, состоящую из транспортной подвесной линии, двухосевого манипулятора с пистолетом распылителем. Имеются сенсорная система, набор датчиков и управляющий контроллер. С помощью датчиков идентифицируется заготовка, что позволяет роботам адаптироваться к размерам заготовки. Окрашиваемое изделие является плоской пластиной.

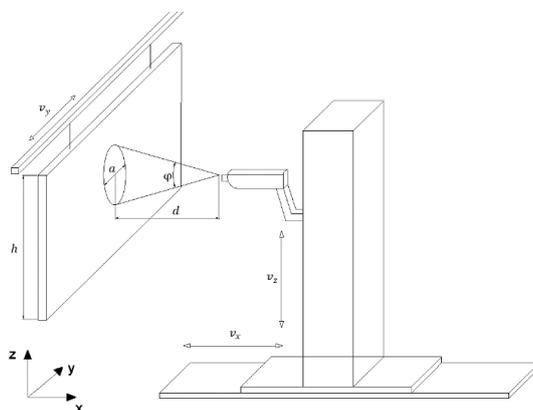


Рис. 1. Модель работы робота порошковой покраски

Рис. 1 расписывает задание геометрии при условии ровной поверхности. Форму распылительного облака примем за конус как упрощенную модель. Без учета еще нелинейностей движения на концах заготовки, вследствие реверсирования направления движения, вертикальная скорость связана с высотой заготовки, скоростью конвейера и шириной пути следующим образом:

$$v_z = \frac{2hv_y}{b}.$$

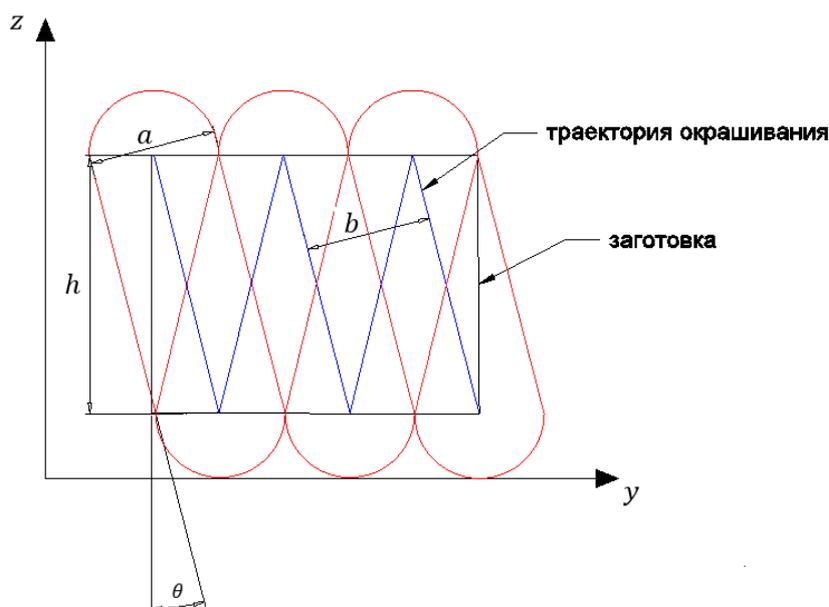


Рис. 2. Траектория движения пистолета

На рис. 2 – траектория окраски: прямоугольник представляет собой поверхность заготовки и на этот же рисунок накладывается траектория распылительного пистолета (траектория окрашивания – синяя линия). На рисунке показана ситуация, при которой диаметр проекции распылительного пятна равен ширине траектории: $a = b$. Траектория распыления, проецируемая на поверхность заготовки, является периодической функцией периода b , как показано на рис. 2, которая проходит с постоянной линейной скоростью:

$$v = \sqrt{v_y^2 + v_z^2} = v_0.$$

Распыление производится со скоростью

$$v = \frac{v_z}{\cos \theta},$$

$$\cos \theta = \sqrt{1 + \left(\frac{b}{2h}\right)^2}.$$

Проекция спрея диаметра зависит от стерилизации расстояние d и угла конуса φ :

$$a = 2d \operatorname{tg} \left(\frac{\varphi}{2}\right).$$

Выводы

В работе изучена технология нанесения порошкового покрытия, разработана автоматизированная система управления, исследованы алгоритмы идентификации габаритных параметров изделий и нахождение “узких” мест – труднодоступных участков окрашивания. Изучены особенности математических моделей структуры и метода проектирования, алгоритмы управления адаптивной системой и возможности их применения.

На основе проведенного исследования можно говорить об отсутствии универсального решения, которое удовлетворяет всем специфическим требованиям технологических процессов.

Литература

1. "Порошковые краски. Технология покрытий", под редакцией ЗАО "Промкомплект", Санкт-Петербург. ХИМИЗДАТ. 2001 г. 256 с.
2. Application Variables for Powder Coating Systems / Ken Kreeger – Nordson Corporation. 2013 г. 8 с.
3. Electrostatic Phenomena in Powder Coating/ S. Guskov – Nordson Corporation. 2017. 12 с.



Чурбанова Александра Валерьевна
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
аспирант группы №7761,
направление подготовки: 05.11.13 – Приборы и методы
контроля природной среды, веществ, материалов и изделий,
e-mail: sashachurbanova@mail.ru



Лукьянов Геннадий Николаевич
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
д.т.н., профессор,
e-mail: gen-lukjanow@yandex.ru

УДК 52.082.9; 57.084; 612.29

ИЗМЕРЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИНХРОНИЗАЦИИ В ЖИВОМ ОРГАНИЗМЕ

А.В. Чурбанова

Научный руководитель – д.т.н., профессор Г.Н. Лукьянов

Работа выполнена в рамках темы НИР «Измерение и моделирование процессов синхронизации в живом».

Аннотация

Динамические процессы в живом организме имеют нелинейный характер, часто в виде хаотических колебаний [1]. Ранее были обнаружены свойства синхронизации между дыхательной и кардиосистемами [2]. В статье рассматриваются процессы синхронизации в живом организме и рассмотрены методы их измерения и моделирования.

Ключевые слова

Синхронизация процессов, сердечно-сосудистая система, дыхательная система, датчик, кардиограф, измерительный комплекс, моделирование.

Значимость раннего обнаружения кардио-респираторных заболеваний и разработки методов их диагностики обусловлена тем фактом, что эти заболевания наиболее широко распространены в развитых странах и являются частой причиной смертности населения. Ранние исследования сердечно-сосудистой и дыхательной систем в живом организме показали их взаимосвязь [1-4]. На рис. 1 представлены графики скорости воздушного потока (красный и синий цвета) и ритмограммы, видна корреляция частоты воздушных вихрей носовой полости с частотой R-зубцов сердца. Однако механизм этой синхронизации не был детально изучен.

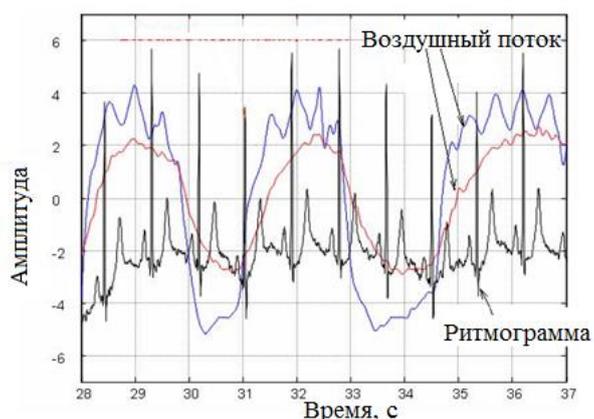


Рис. 1. Синхронизация частоты воздушных вихрей с частотой R-зубцов сердца на электрокардиограмме

Поэтому актуальной целью на данный момент является изучение этого взаимодействия на основе исследований, базирующихся на методах измерения, и получение количественных оценок этой синхронизации.

Измерение и моделирование этих процессов позволит не только получить данные о взаимодействии дыхательной и сердечно-сосудистой систем, но и количественно оценить в будущем взаимосвязь этих процессов в зависимости от состояния человека. В частности, для выявления процессов синхронизации и определения по ним состояния здоровья человека.

Для анализа указанных процессов был создан измерительный комплекс, представленный на рис. 2 и представляющий собой многоканальный ринологический прибор и кардиограф, функционирующие совместно, под управлением компьютера.

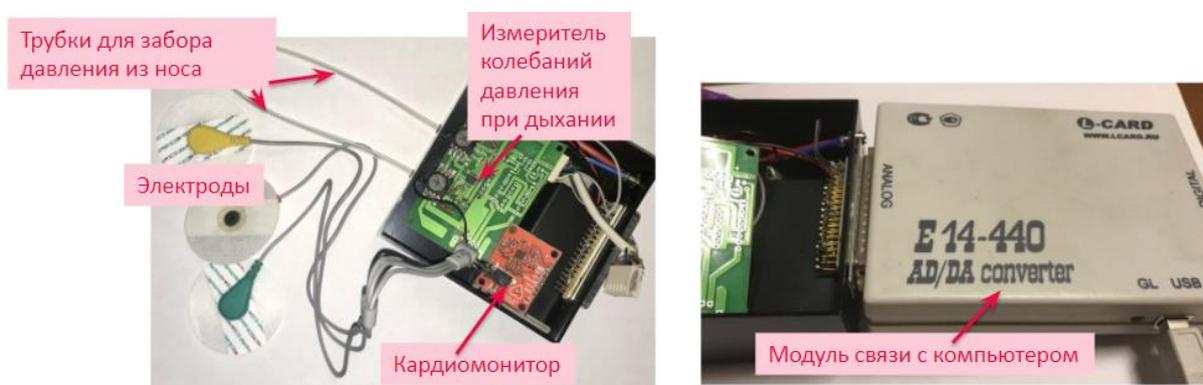


Рис. 2. Ринологический прибор и кардиограф

Использование этого комплекса дает возможность получать новые данные о характере взаимодействия органов дыхания и сердца. Измерительный комплекс создан для выявления общих закономерностей взаимодействия дыхательной и сердечно-сосудистой систем организма [4].

Основными рассмотренными параметрами, необходимыми для выявления особенностей взаимодействия дыхательной и сердечно-сосудистой системы были:

- 1) взаимная спектральная плотность мощности (S) для полученных зависимостей;
- 2) реконструированный по методу задержек аттрактор в фазовом пространстве;
- 3) значения корреляционной размерности, корреляционной энтропии для процессов дыхания и сердечной деятельности.

После проделанного анализа литературы и методов измерений были получены знания о различных методах измерения и о взаимодействии сердечно-сосудистой и респираторной систем, а именно о наблюдении явления синхронизации между данными системами. В дальнейшем планируется:

- 1) экспериментальное исследование процессов дыхания и сердцебиения, анализ полученных результатов с целью изучения процессов синхронизации,
- 2) построение моделей процессов дыхания и сердцебиения,
- 3) сравнение экспериментальных результатов процессов дыхания и сердцебиения с результатами по модели.

Литература

1. Воронин А.А. и др. Измерительный комплекс для исследования колебательных процессов в человеческом организме //Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2010. Т. 53. №. 4.
2. Ren Y., Zhang J. Increased cardiorespiratory synchronization evoked by a breath controller based on heartbeat detection //Biomedical engineering online. 2019. Т. 18. №. 1. С. 1-13.
3. Lukyanov G. et al. Method and Device for Researching and Diagnostics of Respiratory Diseases //Advances in Biotechnology and Bioscience, Proceedings of the 6th International Conference on Bioscience and Bioinformatics (ICBB'15) (Dubai, United Arab Emirates, 22-24 February 2015). 2015. С. 17-21.
4. Воронин А.А. и др. Измерительный комплекс для исследования колебательных процессов в человеческом организме //Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2010. Т. 53. №. 4.



Шабанов Кирилл Алексеевич

Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R41341,
направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника,
e-mail: kashabanov@itmo.ru



Колюбин Сергей Алексеевич

Год рождения: 1986
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
д.т.н., профессор,
e-mail: s.kolyubin@itmo.ru

УДК 62-231

**КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПЫ
УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ**

С.А. Колюбин, К.А. Шабанов

Научный руководитель – д.т.н., профессор С.А. Колюбин

Работа выполнена в рамках темы НИР №620164 «Методы искусственного интеллекта для киберфизических систем».

Аннотация

В данной работе был сделан обзор приводов переменной жесткости. Среди приводов переменного импеданса привода переменной жесткости получили наибольшую популярность у исследователей. Была сделана классификация этих приводов на основе существующих разработок. В работе рассмотрен каждый подкласс приводов переменной жесткости. Описаны их конструкций и принципы регулирования жесткости и положения.

Ключевые слова

Конструкции приводов, приводы переменного импеданса, приводы переменной жесткости, регулирование жесткости.

Введение

Роботы и робототехнические системы активно интегрируются в нашу жизнь. Активно развивается робототехника, нацеленная на физическое взаимодействие с человеком. Например, носимые и коллаборативные роботы. При разработке этих роботов стоит учитывать, что взаимодействию с человеком должно быть безопасными, энергоэффективными и производительными. Актуальность исследования заключается в том, чтобы исследовать привода, придающие эти свойства роботам – привода переменной жесткости (ППЖ). Среди приводов переменного импеданса ППЖ получили наибольшую популярность у исследователей. Этот тип приводов позволяет добиться оптимального компромисса между безопасностью и производительностью. ППЖ способны демпфировать удары, вызванные непредвиденными внешними

воздействиями, а также высвобождать и накапливать энергию за счет пассивных упругих элементов.

Цель работы заключается в исследовании существующих моделей приводов переменной жесткости. Приводы переменной жесткости являются частным случаем приводов переменного импеданса, в которых изменяется только одна составляющая механического импеданса – жесткость. ППЖ можно разделить на три основные группы по принципу изменения жесткости: предварительное натяжение пружины, изменение передачи между нагрузкой и пружиной, изменение физических свойств пружины. Эти группы, в свою очередь, делятся на подгруппы, отличающиеся конструктивным исполнением и подходами управления [1].

1 Предварительное натяжение пружины

В ППЖ данной группы жесткость регулируется путем изменения предварительного натяжения пружины. сила пружины параллельна смещению пружины, поэтому для изменения жесткости энергия должна сохраняться в пружинах. Для преодоления возможного высвобождения энергии может быть добавлена вторая пружина с отрицательной жесткостью, обычно приводящая к большому пассивному угловому отклонению. Эту группу можно разделить на три подгруппы.

1.1 Антагонистические пружины с антагонистическими двигателями

В этих приводах есть два двигателя и две пружины в антагонистическом механизме. Жесткость изменяется вращением обоих двигателей в противоположном направлении, чтобы задать предварительное натяжение пружин. Положение равновесия изменяется, когда оба двигателя вращаются в одном направлении.

Есть три варианта исполнения этих приводов: однонаправленные антагонистические механизмы, двунаправленные антагонистические механизмы, перекрестно-связанные антагонистические механизмы (рис. 1).

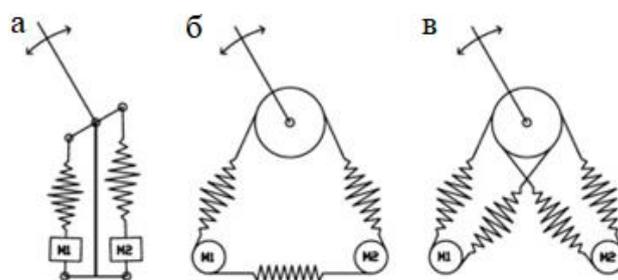


Рис. 1. Антагонистические пружины с антагонистическими двигателями: однонаправленные (а), двунаправленные (б) и перекрестно-связанные (в) антагонистические механизмы

Особенность однонаправленных антагонистических механизмов (рис.1, а) заключается в том, что максимальный момент шарнира не превышает максимальный момент отдельного двигателя, и, когда жесткость максимальная, вращающий момент в шарнире отсутствует [2].

Эти ограничения можно преодолеть, если ввести третий податливый элемент (пружину) между двумя двигателями. Такая конструкция называется двунаправленным антагонистическим механизмом (рис. 1, б). Этот элемент позволяет устанавливать силу натяжения, используя момент каждого двигателя в обоих направлениях.

Переход к перекрестно связанным антагонистическим механизмам подразумевает подключение каждого привода к звену через два податливых элемента (рис. 1, в). Большим преимуществом здесь является то, что момент в шарнире равняется сумме двух моментов двигателя, если отбросить требование отслеживать желаемую жесткость.

1.2 Антагонистические пружины с независимыми двигателями

Аналогичны первой подгруппе, за исключением того, что двигатели отдельно регулируют положение равновесия и жесткость.

Есть три варианта исполнения этих приводов: квазиантагонистический шарнир, механически связанные пружины с двигателем в шарнире, механически связанные пружины с двигателем на другой стороне пружины (рис. 2).

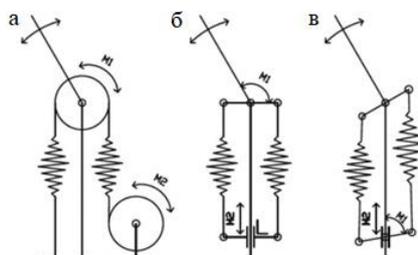


Рис. 2. Антагонистические пружины с независимыми двигателями: квазиантагонистический шарнир (а); механически связанные пружины с двигателем на другой стороне нелинейной пружины (б); механически связанные пружины с двигателем в шарнире (в)

В квазиантагонистическом шарнире (рис. 2, а) один двигатель изменяет боковое положение звена, в то время как второй двигатель регулирует жесткость. Это частично разделенная система, так как при изменении жесткости положение равновесия должно регулироваться двигателем со стороны звена [1].

Полное разделение регулировки положения равновесия и жесткости происходит, когда конечные точки двух пружин механически связаны рычагом или шкивом. Здесь двигатель для установки положения равновесия находится не на шарнире, а на другой стороне нелинейных пружин (рис. 2, б).

Также можно переместить этот двигатель в шарнир, что упростит конструкцию. В этом случае положение равновесия обоих рычагов является горизонтальным, и двигатель для положения равновесия управляемого шарнира устанавливает относительное положение звена шарнира относительно рычагов.

1.3 Регулировка предварительного натяжения одной пружины

Данная подгруппа – не антагонистическая. Здесь линейная пружина натягивается одним двигателем для регулировки жесткости. Второй двигатель управляет положением равновесия. Основной особенностью этой подгруппы заключается в использовании нелинейного соединения между выходным звеном и пружиной, поэтому достаточно только одной линейной пружины.

Эта подгруппа имеет 4 конструктивных исполнения, реализованных в различных приводах: Массера, Массера 2.0, VS-joint и FSJ [3, 4].

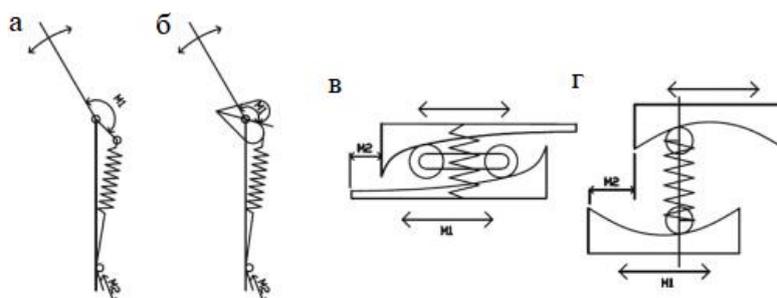


Рис. 3. Регулировка предварительного натяжения одной пружины: Массера (а); Массера 2.0 (б); VS-joint (в); FSJ (г)

В Массера (рис. 3, а) для задания положения равновесия регулируется положение рычага. Рычаг соединен с подпружиненной точкой вращения на выходном звене с помощью троса. Когда звено отклоняется от положения равновесия, пружина растягивается, заставляя шарнир вернуться обратно.

В Массера 2.0 (рис. 3, б) рычаг заменен кулачком, поэтому соотношения момент - угол и жесткость - угол могут быть выбраны в зависимости от области применения.

VS-joint (рис. 3, в) можно рассматривать как дополнение к Массера. В этом случае предварительное натяжение отвечает за изменение жесткости. Ролик выталкивается пружиной в самое нижнее положение кулачкового диска, которое является положением равновесия. Когда к шарниру прилагается момент, в нем происходит отклонение и толчок ролика вверх, вызывающий поступательное отклонение пружины. Пружина толкает ролик вниз, что создает силу в направлении самой нижней точки кулачкового диска. Преимущество этой конструкции заключается в том, что ее можно легко интегрировать в роботизированную руку. Она позволяют использовать два двигателя разных размеров: маленький для задания жесткости и более мощный для положения звена.

В отличие от механики VS-joint, новая механика FSJ (рис. 3, г) оснащена не одной кулачковой системой, а двумя противоположными кулачковыми профилями. Два кулачковых диска соединены друг с другом одной плавающей пружиной (отсюда название Floating Spring Joint (FSJ)). Это означает, что пружина не имеет никакого соединения с основанием шарнира или выходным валом. Эта система предназначена для того, чтобы как можно лучше использовать энергию одной механической пружины для создания желаемого момента и уменьшения потерь из-за предварительного натяжения для изменения жесткости шарнира. Один кулачковый диск закреплен со стороны звена, а второй – со стороны привода жесткости, когда он вращается в осевом направлении, жесткость увеличивается.

2 Изменение передачи между нагрузкой и пружиной

Жесткость регулируется изменением передаточного отношения между выходным звеном и пружинным элементом. При равновесии для изменения жесткости не нужно прикладывать энергию, так как сила на пружине ортогональна смещению пружины. Эта конструкция не дает предварительного натяжения пружины. Эту группу можно разделить на три подгрупп.

2.1 Длина рычага

Жесткость регулируется путем управления конфигурацией рычажного механизма. Рычаг имеет три основные точки: ось, точку крепления пружины, точку силы. При изменении положения одного из этих параметров создается переменная жесткость, не зависящая от положения равновесия (рис. 4). Использование рычажного метода дает энергетически эффективную регулировку жесткости, так как смещение, необходимое для изменения жесткости, перпендикулярно силе, создаваемой пружинами.

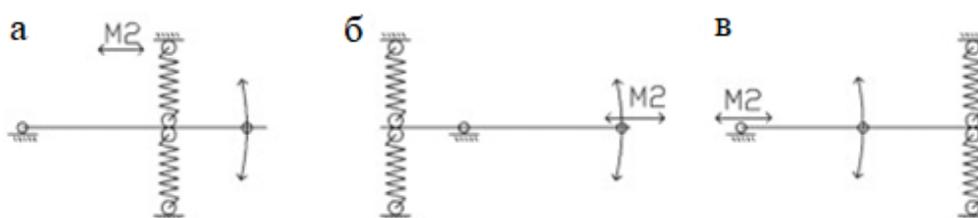


Рис. 4. Способы регулирования передаточного отношения: изменение пружины (а); изменение силы (б); изменение точки поворота (в)

В AwAS сила и точка поворота фиксированы, а для изменения жесткости изменяется точка пружины (рис. 4, а). Диапазон жесткости зависит от жесткости пружин и длины рычага [5].

Принцип работы этой конструкции (рис. 4, б) основан на плече рычага переменной длины, который соединяет внутреннюю пружину с выходом, и реализуется путем перемещения точки приложения выходного усилия на рычаг. Пружина нулевой свободной длины (внутренняя пружина) практически реализуется парой пружин растяжения в антагонистической установке, действующих на ось вращения плеча рычага [1].

В AwAS-II [5] точки силы и пружины остаются постоянными, а точка поворота теперь меняется (рис. 4, в). В этом механизме жесткость равна нулю, когда ось достигает точки пружины, и увеличивается до бесконечности, когда ось и точка силы совпадают. Этот очень высокий диапазон не зависит от жесткости пружин и длины рычага, поэтому можно использовать короткие рычаги и мягкие пружины, что дает более легкую и компактную установку по сравнению с конструкцией, изменяющей точку крепления пружины (рис. 4, а).

2.2 Нелинейное механическое звено

Жесткость адаптируется путем управления свойствами нелинейного механического звена. Изменяя свойства механической связи, можно получить различные передаточные числа. В этой категории в литературе не сообщалось ни об одном устройстве, использующем этот принцип в качестве основного для адаптации жесткости. Однако существуют различные принципы соединения для получения характеристик момент – смещение в зависимости от приложения (рис. 5).

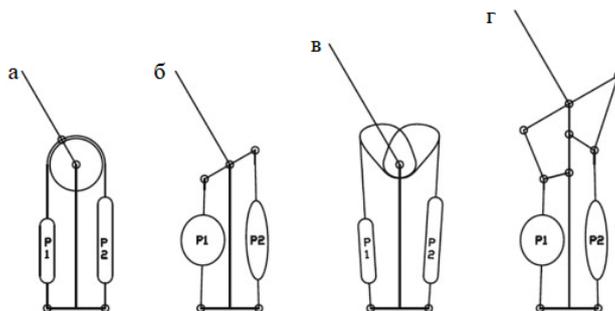


Рис. 5. Различные принципы соединения: шкив (а); тянущий рычажный механизм (б); кулачковый профиль (в); четырехзвенный механизм (г)

В основном податливые элементы соединяются с шарниром с помощью шкива (рис. 5, а). Выбирая различные принципы соединения, можно регулировать характеристику момента.

При изменении угла и длины плеч рычага (рис. 5, б) сильная нелинейность характеристики мышц сила – угол компенсируется для того, чтобы сгладить характеристику момент – угол шарнира.

Ученые из Стэнфордского университета разработали методику проектирования для синтеза пары шкивов переменного радиуса (рис. 5, в), которые поддерживают высокий крутящий момент при выполнении требований удовлетворительной пассивной жесткости и рабочего пространства.

Робот для реабилитации коленного сустава Кпехо использует четырехзвенный механизм (рис. 5, г) для того, чтобы инкапсулировать желаемый момент и требования к шарнирному диапазону с помощью относительно простого и компактного механизма.

Еще одним преимуществом является то, что муфта каждого четырехзвенного рычага легко оснащается двумя парами тензометрических датчиков для измерения момента в шарнире.

2.3 Бесступенчатая трансмиссия

Жесткость регулируется путем регулирования передаточного отношения бесступенчатой трансмиссии. Бесступенчатые трансмиссии включают такие конструкции, как шкивы переменного диаметра (VDP) или приводы Ривза, тороидальные или роликовые бесступенчатые трансмиссии (CVT) и магнитные вариаторы.

3 Физические свойства пружины

В отличие от предыдущих концепций, управление структурой создает эффективную физическую структуру пружины для достижения различных значений жесткости. Рассмотрим основной закон упругости:

$$F = \frac{EA}{L_0} \Delta L = K \Delta L,$$

где F – сила, E – модуль упругости материала, A – площадь поперечного сечения, L_0 – эффективная длина пружины, ΔL – удлинение пружины, $K = \frac{EA}{L_0}$ – жесткость.

Здесь для изменения жесткости можно изменять площадь поперечного сечения A и длину L .

Заключение

В данной работе была изучена классификация приводов переменной жесткости, а также выполнен обзор их конструкций и методов управления. Представленный обзор призван помочь исследователям ориентироваться в существующих технологиях и выбирать подходящие привода для реализации своих разработок. В будущем на основе этой классификации планируется провести исследования работы приводов переменной жесткости в носимых роботах.

Литература

1. Vanderborght B., Albu-Schaeffer A., Bicchi A., «Variable impedance actuators: a review» // *Robotics and Autonomous Systems* 61(12). 2013. P. 1601–1614.
2. Verrelst B., Van Ham R., Vanderborght B., Lefeber D., Daerden F., Van Damme M., «Second generation pleated pneumatic artificial muscle and its robotic applications», *Advanced Robotics*, 20 (7). 2006. P. 783-805.
3. Vanderborght B., Tsagarakis N., Van Ham R., Thorson I., Caldwell D., «Maccera 2.0: compliant actuator used for energy efficient hopping robot chobino1d», *Autonomous Robots*. 2009. P. 1–11.
4. Wolf S., Eiberger O., Hirzinger G., «The DLR FSJ: energy based design of a variable stiffness joints», *IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 2011*. 2011. P. 5082–5089.
5. Jafari A., Tsagarakis N., Caldwell D.G., «AwAS-II: a new actuator with adjustable stiffness based on the novel principle of adaptable pivot point and variable lever ratio», *IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA, 2011*. 2011. P. 4638–4643.



Shaker Alaa

Year of birth: 1991

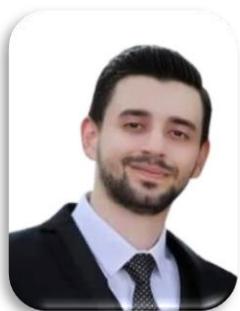
ITMO University,

faculty of software engineering and computer systems,

PhD student, group № 7762,

specialty: 09.06.01 – Informatics and computer engineering,

e-mail: eng.alaashaker@gmail.com



Aldarf Alaa

Year of birth: 1992

ITMO University,

faculty of software engineering and computer systems,

PhD student, group № 7762,

specialty: 09.06.01 – Informatics and computer engineering,

e-mail: alaadarf665@gmail.com



Bessmertny Igor Aleksandrovich

Year of birth: 1954

ITMO University,

faculty of software engineering and computer systems,

D.Sc., professor,

e-mail: igor_bessmertny@hotmail.com

УДК 004.623

**USING BELL INEQUALITY TEST FOR ANALYZING AND
RETRIEVING INFORMATION IN THE ARABIC LANGUAGE**

A. Shaker, A. Aldarf

Scientific adviser – D.Sc., professor A.B. Igor

Annotation

This article aims to show the potential of the quantum-based semantic model based on the Bell test in the process of retrieving texts written in the Arabic language, and the ability of this model in the field of processing and analyzing Arabic texts, which reflects the analogy between natural language processing and quantum-like system by experimenting retrieving different texts from databases in the Arabic language and doing a comparison with a commonly used algorithm in this field term frequency-inverse document frequency (TF-IDF). This work tries to retrieving texts then reordering the retrieved files in the Arabic language based on the values of Bell's test to get the right order of files depending on their relevance to the research topic, which raises the precise of an algorithm.

Keywords

Bell inequality, entanglement, information retrieval, Hyperspace analog language (HAL), Quantum Theory, Arabic language, term frequency-inverse document frequency (TF-IDF), Natural language processing.

Textual content mining may be a variation on a topic referred to as fact mining that tries

to locate exciting patterns from massive databases. Text Mining or Information Retrieval (IR) is the process to retrieve data from the dataset and transform it to the user in an understandable form, so user easily gets that information. The increasing number of internet resources contradicts with opportunities for effective search. The most used algorithm in search engines to retrieve information is TF-IDF, which almost works well but it searches for texts based on statistical method and ignores an important thing the meaning of the text.

A big question appears here how we can express and measure the quantity of text's meaning? Meaning is not a real or positive quality of a given word. It is a net of relations constructed in the text whose value is progressively determined during the reading process [1]. So the first step is to represent the relations between text's words in a suitable form that allows us to study these relations.

The need for building the textual Space that represents the relations between words; for this point, many algorithms help represent a word as a vector. The bag-of-words model is one of the most popular representation methods for object categorization. The Bag of Words [2] model is a simplified representation used in natural language processing and IR. A word is represented equally to its frequency of occurrence in the document and frequency between different documents. However, the model's simplicity is a disadvantage because many languages are described by links grammar, and the word order in them is essential. Another model is Word-to-Vector (Word2vec), which is based on distributional semantics. Word2vec can utilize either of two model architectures to produce a distributed representation of words: continuous bag-of-words (CBoW) or continuous skip-gram. Word2Vec models can carry semantic meanings and turn text into a numerical using a deep-learning neural network. Word2Vec model is a very flexible and robust model, but it has some disadvantages like a problematic interpretation of word vector components and lack of natural metrics for Word2vec vector space. But the main problem the vector representing the word has fixed values, which means the same representation of a word, whatever the text would be. But we need a model that reflects the relationship between words in a text.

For that model hyperspace analog language (HAL) [3] is a widely used technique to formalize a document as a square matrix [1]. In the most popular approaches of text analysis another technique used, the Bag-of-Words technique is used, under this approach the words encoded into numbers. In this model, we notice the absence of interest in the correlation between words in different locations, and the study of the interconnectedness between two adjacent words is limited. It was previously mentioned that the association between words in different locations constitutes the meaning. This led to the development of another model (HAL). A lot of different quantum-based information retrieval used this technique [1, 5]. Also, HAL is a sensitive array for the links between two terms: row and column vectors record the co-occurrence information of previous and later words separately.

Galofaro F., Toffano Z., Doan B. L [1, 4], and Aleksei P. and Igor B. [5], use the HAL model to study the entanglement between two words in the text depends on quantum theory in English and Russian language. The Arabic language is characterized by the sharing of nouns, derivatives, infinitive, and verbs in one origin. Different forms of the same verb that depends on whether the subject is masculine or feminine. The Arabic language is distinguished from other languages by the syntactic movements in which words and expressions are formed (Damma, Fatha, Kassra, Sukoon, Shaddah, and Tanween). In addition in the Arabic language, the writing starts from right to left. In this work we will check if the quantum-semantic model can also be used to retrieve the information in Arabic language.

The second step after building a textual space we need to describe this space in geometric terms, the vector state of the document is the sum of all the word vectors $|W_i\rangle$ that represent in equitation (2), which are contained in the N-dimensional HAL matrix.

$$|\psi\rangle = \sum_{i=0}^N |W_i\rangle. \quad (1)$$

Where $|\psi\rangle$ is vector represents the whole document, N – the Number of words in text, W_X – the vector of word X .

Representing two words (A, B) can be achieved by taking two rows from the HAL matrix related to these two words and getting two vectors $\{|W_A\rangle, |W_B\rangle\}$. These two vectors are non-orthogonal, so they will be converted to orthogonal vectors for using them as a basis by using the Gram-Schmidt orthogonalization process. The orthogonal basis can be written as $\{|u_A\rangle, |u_{A\perp}\rangle\}$ as a first set of coordinates axes in this textual space, and $\{|u_B\rangle, |u_{B\perp}\rangle\}$ for the second one. After getting the orthogonal basis, now the vector of the document can be represented as in equitation (2):

$$|\psi\rangle = a|u_A\rangle + b|u_{A\perp}\rangle = c|u_B\rangle + d|u_{B\perp}\rangle. \quad (2)$$

Where the coefficients of basis vector can be computed as a projection of document vector onto a basis vector with the normalization of resulting projection length, mathematically the projection of a document vector on axes $|u_A\rangle$ can be calculated as in equitation (3):

$$a = \frac{\langle u_A | \psi \rangle}{\sqrt{\langle u_A | \psi \rangle^2 + \langle u_{A\perp} | \psi \rangle^2}}. \quad (3)$$

The third step is to apply Bell's inequality test to check whether is there an entanglement between desirable two words in text or not, Bell inequality test is used in physics to determine the presence of entanglement between two particles. In this work, it will be used to analyze the relation between two words will be analyzed by using the Bell test. The Bell inequality can be computed by the following formula (4):

$$S_{query} = |\langle \hat{A} \hat{B}_+ \rangle_\psi + \langle \hat{A}_x \hat{B}_+ \rangle_\psi| + |\langle \hat{A} \hat{B}_- \rangle_\psi - \langle \hat{A}_x \hat{B}_- \rangle_\psi|. \quad (4)$$

Where the two operators of the first basis of word A are represented in equitation (5):

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \hat{A}_x = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

And the two rest operator for the second basis of second word B can be calculated by using transformation matrix as shown in equitation (6), which helps us to do all computation operations on one basis.

$$\hat{B} = M^{-1} \hat{A} M, \hat{B}_x = M^{-1} \hat{A}_x M. \quad (6)$$

Transformation matrix can be computed as in equitation (7):

$$M = \begin{bmatrix} \langle u_B | u_A \rangle & \langle u_B | u_{A\perp} \rangle \\ \langle u_{B\perp} | u_A \rangle & \langle u_{B\perp} | u_{A\perp} \rangle \end{bmatrix}. \quad (7)$$

The rest two operators \hat{B}_-, \hat{B}_+ are computed as shown in equitation (8):

$$\hat{B}_+ = -\frac{B + B_x}{\sqrt{2}}, \hat{B}_- = \frac{B - B_x}{\sqrt{2}}. \quad (8)$$

The case where Bell's results in $[2, 2\sqrt{2}]$ can be achieved where the two particles under study are in entanglement. The value $2\sqrt{2}$, also known as the Tsirelsons bound. The zone between $2\sqrt{2}$ and 4 is called the "no-signaling" region. The maximum value is four can be attained with logical probabilistic constructions, often named Popescu and Rohrlich boxes (PR boxes). An area where the results are less than two that means there is no entanglement between the two particles.

In this work, we check the ability to use a quantum-like semantic model for retrieving information and compare it with a commonly used algorithm in this field TF-IDF with using a dataset, which contains one-hundred Arabic texts related to ten different subjects (Syrian War, Ibn Sina (doctor and astronomer), relativity theory, children education, Pharaonic Civilization, Organic Chemistry, Euphrates river, Russian economy, Astronomy science, Psychology science). The first step in our model prepares the Arabic text by removing undesirable words "stop-words", the second step is using a stemmer to get the root of the word because the same word takes many shapes depending on the grammatical situation. After that, building an index of words included in the text to help build the HAL matrix with different window sizes, in each row and column corresponds to a unique word in the text, afterward, extracting the document vector and two vectors represent the query words. Next, a series of Bell test measurements were performed for each text's part, in this work the text was divided into parts with size (180 words for each part), after that an average of Bell's results was computed.

Table

Results of precision, recall, and f-measure of ten queries

Query	F-measure of Quantum semantic model	F-measure of TF-IDF
Syrian war	0.73	0.74
Son Sina (was famous medicine)	1	1
Relativity theory	1	1
Children education	0.89	1
Pharaonic civilization	0.82	0.9
Organic chemistry	1	1
Euphrates river	0.95	0.84
Russian economy	0.95	1
Astronomy science	0.97	0.5
Psychology science	0.83	0.61

In tabl. 1 we can see that the F-measure criteria of the two algorithms' results for the first eight queries are converging. The F-measure values of the last two queries of the quantum-semantic model are higher than the F-measure values of retrieved texts by using the algorithm TF-IDF. These results improve that model quantum-semantic model can be used for retrieved files and sometimes it achieves results better than TF-IDF.

This proposed model is still at the development stage and needs improvements to include studying the entanglement between more than one pair of words and the possibility of merging it with other algorithms to be used in classifying and retrieving texts to give more accurate results. In addition to the need to develop natural language processing methods and libraries concerned in studying texts in Arabic.

Reference

1. Galofaro F., Doan B.L., Toffano Z., «A quantum-based semiotic model for textual semantics» // Kybernetes. 2018. Vol.47. P.307–320.

2. Fabrizio S., «Machine learning in automated text categorization» // ACM Computing Surveys (CSUR). 2002. Vol.34. № 1. P.1–47.
3. Lund K., Burgess C., «Producing high-dimensional semantic spaces from lexical co-occurrence» // Behavior Research Methods, Instruments and Computers. 1996. Vol.28. № 2. P. 203–208.
4. Galofaro F., Doan B.L., Toffano Z., «Linguistics and quantum theory: epistemological perspectives» // 2016 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering. 2016. P. 600–607.
5. Platonov A.V., Poleschuk E.A., Bessmertny I.A., Gafurov N.R. «Using quantum mechanical framework for language modeling and information retrieval» // Proceedings of the 2018 IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). 2018. P. 1–4.



Югай Кирилл Михайлович
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы №R42471,
направление подготовки: 13.04.02 – Электроэнергетика
и электротехника,
e-mail: kmiugai@itmo.ru



Усольцев Александр Анатольевич
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент,
e-mail: uaa@ets.ifmo.ru

УДК 621.313.333.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА ПЯТИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ

К.М. Югай

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Усольцев

Работа выполнена в рамках темы ПОНИОКР №420460 «Разработка синхронного двигателя с аксиальным магнитным потоком и постоянными магнитами для прецизионных безредукторных приводов робототехнических комплексов».

Аннотация

В работе исследованы пульсации электромагнитного момента пятифазного АД при пространственно-векторной ШИМ, выявлено отсутствие корреляции между пульсациями вектора тока статора и пульсациями ЭМ. Проведен эксперимент с математической моделью пятифазного АД и мостового инвертора напряжения в пакете MATLAB/Simulink.

Ключевые слова

Электропривод, пространственно-векторная модуляция, пятифазный асинхронный двигатель, пульсации электромагнитного момента, глубокое регулирование.

Практически все современные приводы переменного тока питаются от силовых электронных преобразователей. В подавляющем большинстве случаев двигателями являются трёхфазные асинхронные короткозамкнутые двигатели. Однако в последние два-три десятилетия усилился интерес к многофазным двигателям, так как увеличение числа фаз позволяет снизить нагрузку на ключи инвертора, повысить надёжность привода и (при определённых условиях) уменьшить пульсации электромагнитного момента [1]. Многофазные инверторы строятся по тем же принципам, по которым строятся трёхфазные инверторы. Аналогично реализуются и алгоритмы ШИМ. При этом практически всегда используется пространственно-векторная ШИМ, т.к. только такой

вид модуляции позволяет целенаправленно воздействовать на годограф вектора тока статора, снижая его пульсации и полагая, что при этом будут снижаться и пульсации электромагнитного момента.

В контексте использования пятифазного асинхронного двигателя в прецизионном электроприводе пульсации ЭМ являются одной из важнейших характеристик качества работы привода. Предварительный анализ возможного качества выходного момента в пятифазном двигателе осложнен тем, что формирование вектора напряжения на плоскости прямого и обратного порядков чередования фаз неизбежно сопровождается формированием вектора напряжения на плоскости перемежающегося порядка чередования фаз. Ток, порождаемый напряжением на второй плоскости, не является моментобразующим, а лишь создает высокочастотные пульсации тока статора и, соответственно, момента машины [2]. В работе исследуется возможность оценки пульсаций электромагнитного момента по пульсациям модуля вектора тока статора.

В ходе исследования была разработана математическая модель пятифазного АД с ПВШИМ, позволяющая полностью имитировать работу системы инвертор-двигатель. На рис. 1 приведен общий вид модели.

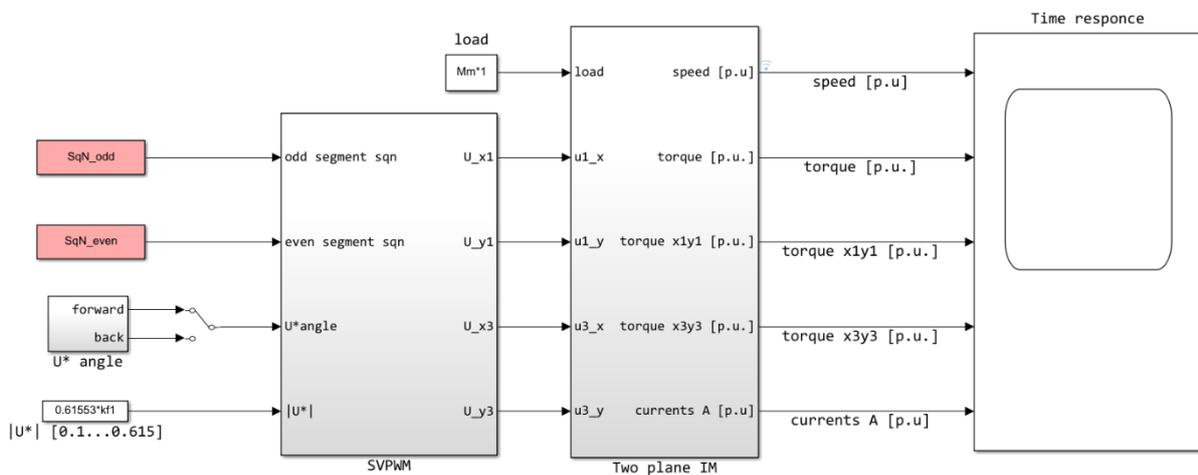


Рис. 1. Общая структура реализованной модели

Модель предоставляет возможность получить годографы вектора тока статора (ВТС) и электромагнитного момента (ЭМ) и определить их параметры пульсаций, такие как разброс пульсаций (dI_s и dM) и коэффициент вариации (CV_i и CV_m). Разброс пульсаций позволяет оценить отклонение величины от среднего значения, коэффициент вариации оценивает мощность пульсаций [3]. В качестве примера работы модели на рис. 2 приведена временная диаграмма ВТС и ЭМ в статическом режиме.

Для оценки взаимосвязи параметров пульсаций был использован коэффициент корреляции или коэффициент Пирсона, позволяющий оценить отклонение значений двух множеств от линейной зависимости. Расчет коэффициента производился для шести индексов модуляции или длин вектора задающего напряжения. Каждому из индексов соответствует набор из тридцати шести dI_s , dM , CV_i , CV_m по числу возможных комбинаций последовательностей формирования базовых векторов. На рис. 3 приведена гистограмма рассчитанных коэффициентов корреляции разбросов пульсаций dI_s и dM , на рис. 4 – коэффициентов вариации CV_i и CV_m .

Положительные значения r не превышают 0,5, что формально свидетельствует о слабой корреляции, а с учётом отрицательных значений r – об отсутствии корреляции в целом.

Полученные в ходе работы результаты позволяют заключить: во всём диапазоне линейного регулирования напряжения при ПВШИМ с треугольным сегментированием основной плоскости базовых векторов двухуровневого пятифазного ИН между пульсациями ВТС и ЭМ двигателя полностью отсутствует корреляция, что исключает возможность использования тока статора в качестве критерия оценки в задачах минимизации пульсаций ЭМ.

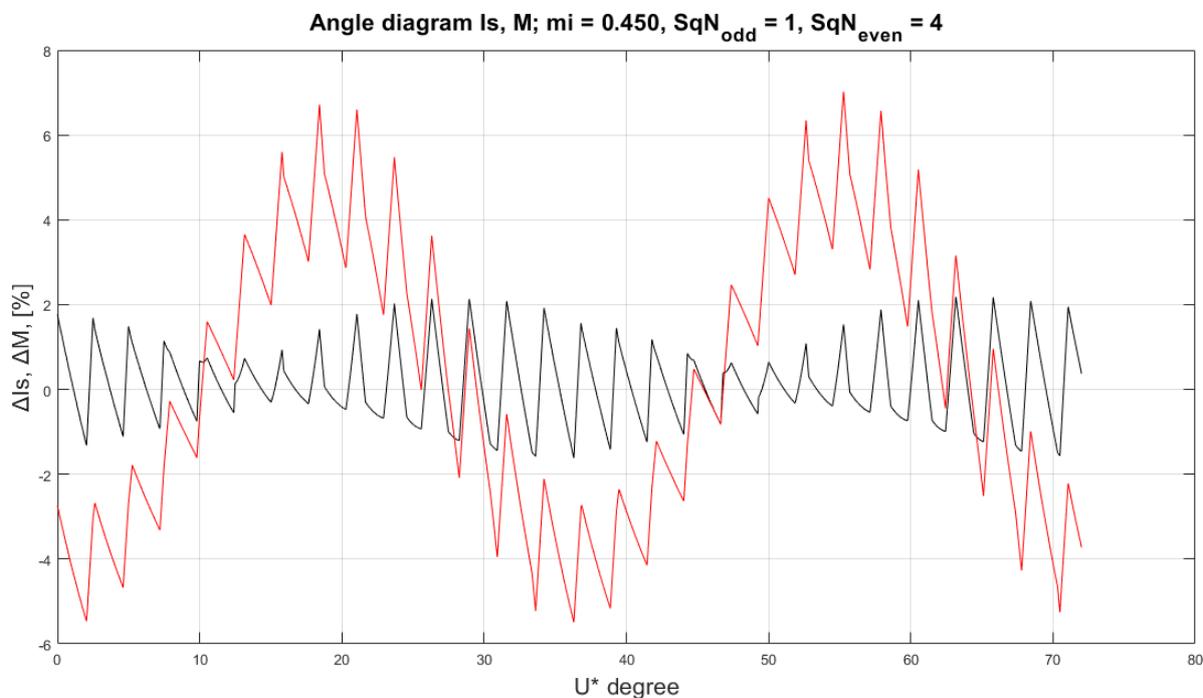


Рис. 2. Угловая развертка годографов вектора тока и момента

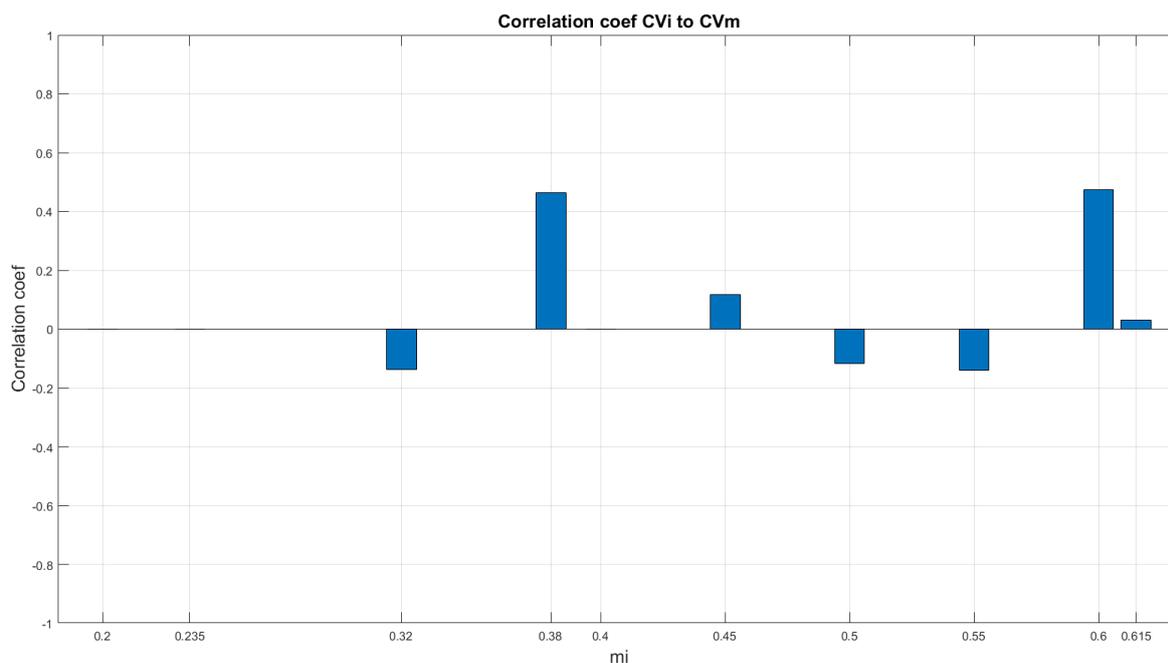


Рис. 3. Гистограмма корреляции CV_i и CV_m

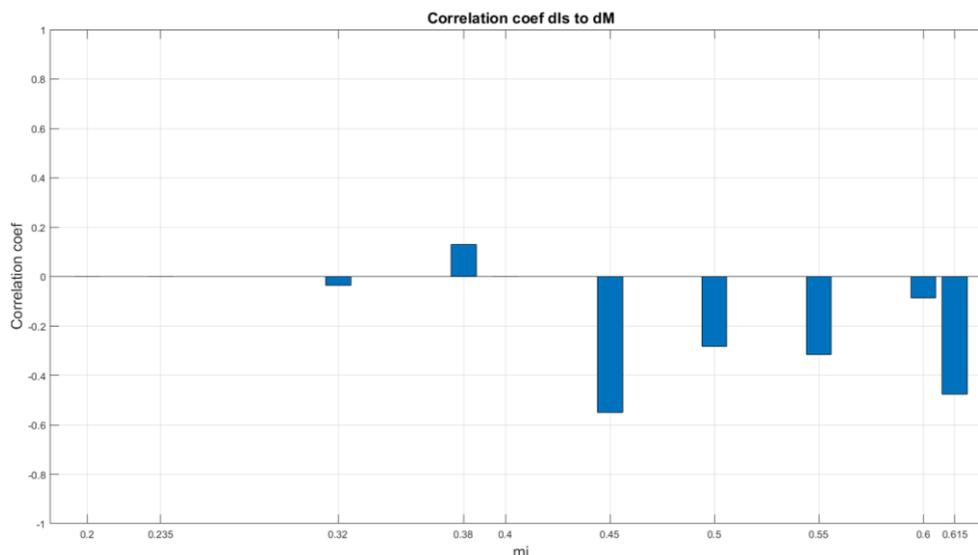


Рис. 4. Гистограмма корреляции dI и dM

Это связано с тем, что в коэффициенте вариации вектора тока не учитывается аргумент вектора, а также с тем, что одновременное формирование вектора напряжения на плоскости перемежающегося порядка чередования фаз вызывает высокочастотные пульсации тока, не участвующие в формировании момента.

Литература

1. Levi E. "Multiphase Electric Machines for Variable-Speed Applications," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, no. 5, pp. 1893-1909, May 2008.
2. Iqbal A. and Levi E. "Space vector modulation schemes for a five-phase voltage source inverter," Proc. European Power Electronics Conf EPE, Dresden, Germany CDRom no. 0006.pdf, 2005, pp. 12 pp.-P.12.
3. Томасов В.С., Вертегел Д.А., Усольцев А.А. "Прецизионный электропривод на базе многофазного инвертора с пространственно-векторной модуляцией" Известия высших учебных заведений. Приборостроение. vol. 63. no. 7. 2020. pp. 600-610.



Юдин Семён Алексеевич

Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
аспирант,
направление подготовки: 05.11.14 – Технология приборостроения,
e-mail: sayudin@itmo.ru



Ашарчук Антон Васильевич

Год рождения: 1988
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
аспирант,
направление подготовки: 05.11.14 – Технология приборостроения,
e-mail: asharchuck@itmo.ru



Андреев Юрий Сергеевич

Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент,
e-mail: ysandreev@corp.ifmo.ru

УДК 621.923.74; 681.2.084

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ВИБРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ**

С.А. Юдин, А.В. Ашарчук

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.С. Андреев

Аннотация

В работе рассмотрена конструкция вибропреобразователя пьезоэлектрического датчика вибрации, используемого в авиационной технике для мониторинга и контроля возникающих при эксплуатации вибраций. Определена несбалансированность требований, выдвигаемых к геометрической точности сопрягаемых деталей. Рассмотрена технология финишной обработки сопрягаемых поверхностей. Выдвинуто предположение о необоснованности предъявляемых к этим поверхностям требований.

Ключевые слова

Пьезоэлектрический датчик вибрации, вибропреобразователь, абразивная обработка, механическая обработка, микрогеометрия поверхностей, допуск параллельности, допуск плоскостности.

Исследованию и мониторингу колебаний уделено большое внимание при разработке, испытании и эксплуатации разнообразных технических и технологических устройств. Контроль вибраций в технических системах позволят прогнозировать и предотвращать поломки и тем самым повышать их надежность и безопасность [1].

Простейшим регистрационным прибором являются датчики параметров вибрационных и ударных колебаний, которые устанавливаются на контролируемый объект и преобразуют измеряемые механические величины в электрический сигнал, поступающий на регистрирующее устройства. Как правило, датчики вибрации работают в неблагоприятных условиях и поэтому к ним выдвигаются особые требования к их эксплуатационным характеристикам [2].

Из существующих типов датчиков вибрации наибольшее распространение получили пьезоэлектрические датчики. Работа датчика основана на пьезоэффекте, который заключается в преобразовании пьезоэлементом механических колебаний в электрическое напряжение.

Актуальность исследования заключается в том, что пьезоэлектрические датчики вибрации являются одними из наиболее часто используемых датчиков для измерения параметров механических колебаний. При разработке и модернизации более точных и надежных датчиков вибрации основное внимание уделяется изменению его конструкции, вводу новых конструктивных элементов, усложнение существующих элементов и повышению требований к качеству микрогеометрии и точности формы [3-5], но не учитываются технологические особенности изготовления деталей датчика вибрации [6], не проводятся инженерные исследования по определению рациональной микрогеометрии сопрягаемых поверхностей и достаточных допусков формы и расположения конструктивных элементов. Все это приводит к введению финишных технологических операций и удорожанию изделия в целом.

Целью работы является определение технологических особенностей изготовления компрессионного вибропреобразователя с упругим поджатием элементов. Объектом исследования являются требования, выдвигаемые к качеству микрогеометрии и точности формы поверхностей деталей вибропреобразователя.

Для определения технологических особенностей изготовления датчика вибрации была проанализирована конструкторская и технологическая документация на сборочную единицу «Вибропреобразователь» (рисунок). Были рассмотрены следующие детали и сборочная единица: «Основание», «Шайба», «Груз», «Прокладка», «Гайка» и «Блок пьезоэлементов». Все перечисленные элементы сопряжены друг с другом и находятся на одной оси.

В результате анализа конструкторской документации были определены требования, выдвигаемые к качеству микрогеометрии, в виде параметра Ra и точности формы поверхностей в виде допуска плоскостности и параллельности. Данные требования приведены в таблице.

Исходя из приведенной таблицы, можно сделать вывод о несбалансированности выдвигаемых требований. При достаточно высоких требованиях к плоскостности, параллельности и шероховатости, которые подразумевают финишную обработку, к точности размеров выдвигаются умеренные требования, т.е. для получения этих размеров достаточно более эффективных токарной или фрезерной обработки.

Анализ технологической документации подтверждает наличие финишной (отделочной) обработки, такой как шлифование и доводка. Окончательное шлифование предполагает сьем тонких слоев металла при помощи абразивного инструмента. Доводочная операция является более трудоемкой, чем шлифование, т.к. абразивный инструмент вращается с меньшей скоростью, чем при шлифовании, и требует специализированного оборудования. Доводка является чистовой обработкой отшлифованных поверхностей с целью получения окончательных, точных размеров с более малой шероховатостью поверхностей, чем при шлифовании. Процесс доводки осуществляется путем сложного кинематического движения абразивного инструмента и обрабатываемых заготовок относительно друг друга [7].

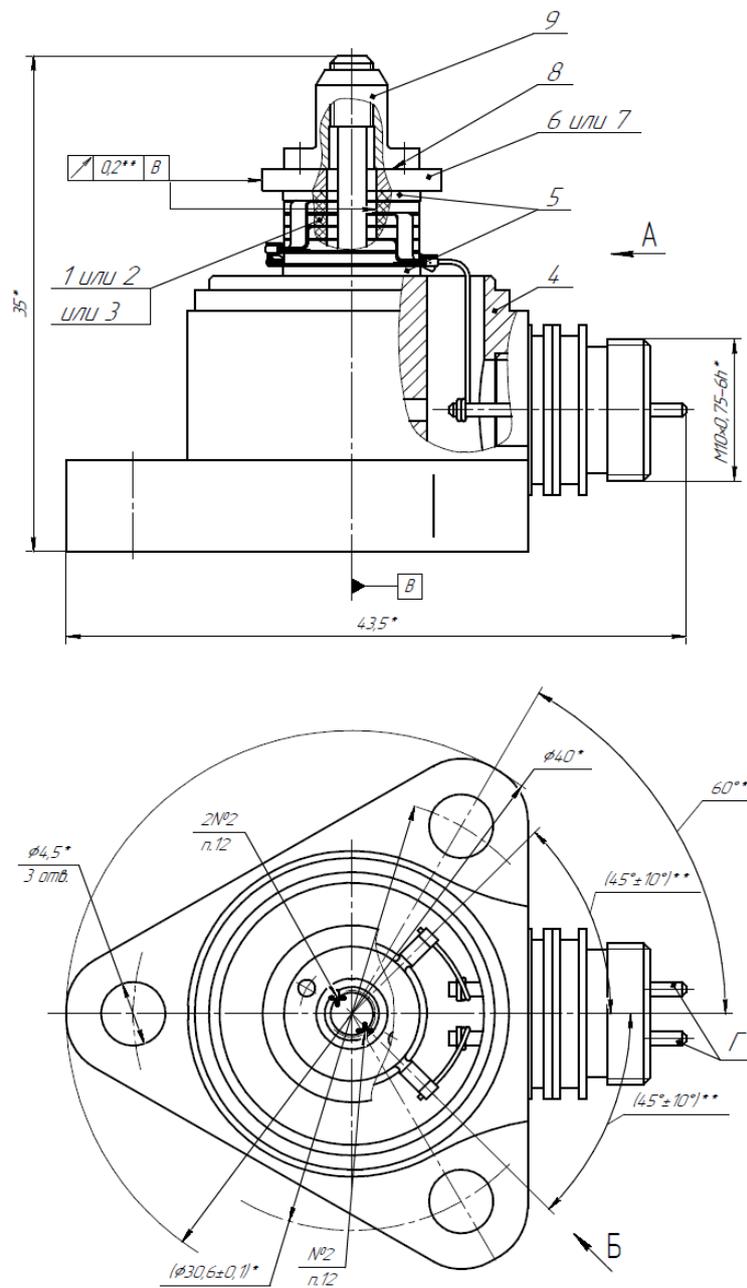


Рисунок. Фрагмент чертежа сборочной единицы «Вибропреобразователь»

Таблица

Перечень деталей и выдвигаемых к ним требований

Наименование	Плоскостность, мм	Параллельность, мм	Интервал квалитетов	Шероховатость, мкм
Основание	0,003	0,03	от 7 до 14	Ra 0,4
Шайба	0,003	0,005	от 12 до 14	Ra 0,8
Груз	0,003	0,005	от 11 до 12	Ra 0,4
Гайка	0,003	—	от 6 до 14	Ra 0,4

В анализируемой технологической документации применяется плоско-доводочный станок двухстороннего действия ПД2С-902, который подразумевает одновременную обработку противоположных поверхностей абразивным инструментом, режущими элементами которого являются алмазные зерна.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что изготовление деталей вибропреобразователя является трудоемким процессом, который включает чистовые технологические операции, такие как шлифование и последующая доводка на специализированном оборудовании. Это обусловлено высокими требованиями к качеству микрогеометрии и точности формы поверхностей сопрягаемых деталей. При этом требования являются несбалансированными, и указанная проблема требует более глубокой проработки. В дальнейшем авторами планируется проведение исследований по выявлению зависимости между точностью датчика вибрации и выдвигаемыми требованиями к точности геометрии для подтверждения или опровержения их обоснованности.

Литература

1. Петрухин В.В., Петрухин С.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации / Под. ред. О.М. Зелениной. – Вологда: Инфра-Инженерия. 2010. 176 с.
2. Авиационные приборы и измерительно-вычислительные комплексы: Учеб. Пособие. Уфа: УГАТУ. 2006. 572 с.
3. Богущ М.В. Анализ и синтез пьезоэлектрических датчиков для вихревых расходомеров на основе пространственных электротермоупругих модулей. Дис. ... докт. техн. наук. Ростов-на-Дону. 2008. 360 с.
4. Симчук А.А. Разработка пьезоэлектрических датчиков динамического давления с улучшенными метрологическими характеристиками и расширенной областью применения. Дис. ... канд. техн. наук. М. 2011. 109 с.
5. Вускер В.Ю. Повышение чувствительности элементов датчиков вибрации и быстропеременного давления на основе совершенствования конструкций и пьезотехнологий. Дис. ... канд. техн. наук. М. 2009. 149 с.
6. Исаев Р.М. Влияние качества поверхностей функциональных деталей пьезоэлектрических датчиков вибрации на их эксплуатационные характеристики. Дис. ... канд. техн. наук. М. 2017.
7. Маталин А.А. Технология механической обработки. Л.: Машиностроение. 1977. 460 с.



Юрьев Родион Николаевич

Год рождения: 1979

Университет ИТМО,

факультет программной инженерии и компьютерной техники,
аспирант,

направление подготовки: 15.13.17 – Теоретические основы
информатики,

e-mail: rodion@juryev.ru

УДК 004.021

КОМПАРАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В NLP

Р.Н. Юрьев

Научный руководитель – д.т.н. профессор И.А. Бессмертный

Аннотация

В работе рассмотрено применение методов компаративного исследования в лингвистике применительно к задаче извлечения знаний из неструктурированных текстов. Приведены актуальные примеры использования достижений сравнительного языкознания в сфере компьютерной обработки естественного языка. Сделаны предложения по дальнейшему углублению компаративных исследований с целью улучшения показателей в сфере NLP.

Ключевые слова

Онтологии, компаративные исследования, лингвистика, обработка естественного языка, извлечение знаний.

В настоящее время лингвистические исследования естественных языков развиваются самостоятельно от исследований в сфере компьютерной обработки текстов. В то же время за два столетия работы учёных компаративистов в сфере лингвистики был наработан большой практический и теоретический опыт, позволяющий применять конкретные решения и концепции напрямую в сфере компьютерной лингвистики [1].

Исторически научное сравнительное языкознание включает в себя разные периоды, например, широко известны исследования древнеегипетского языка, который был расшифрован Ж.-Ф. Шампольоном с помощью так называемого Розеттского камня (рис. 1), содержащего параллельные надписи на древнеегипетском и древнегреческом языках. Благодаря тщательной работе с коптским языком, исследованию повторяемости определённых элементов и археологическим находкам французскому учёному удалось сделать доступными всему миру тексты трёхтысячелетней давности. После его работ были изучены и другие давно забытые языки: аккадский, эламский, древнеперсидский, шумерский, причём основным методом расшифровки было сравнение надписей на разных языках.

Неоценимый вклад в развитие компаративистики внесли специалисты по исследованию религиозных текстов, для которых вопрос о переводах и правильном сопоставлении текстов на разных языках всегда имел первостепенное значение. Также можно отметить и работы учёных в рамках публикации античного наследия в XVI-XVII веках. Например, на рис. 2 представлена публикация писем императора Юлиана Отступника, опубликованных в Париже в 1630 году, где привычный латинский текст соседствует с совершенно необычным для нас древнегреческим шрифтом.

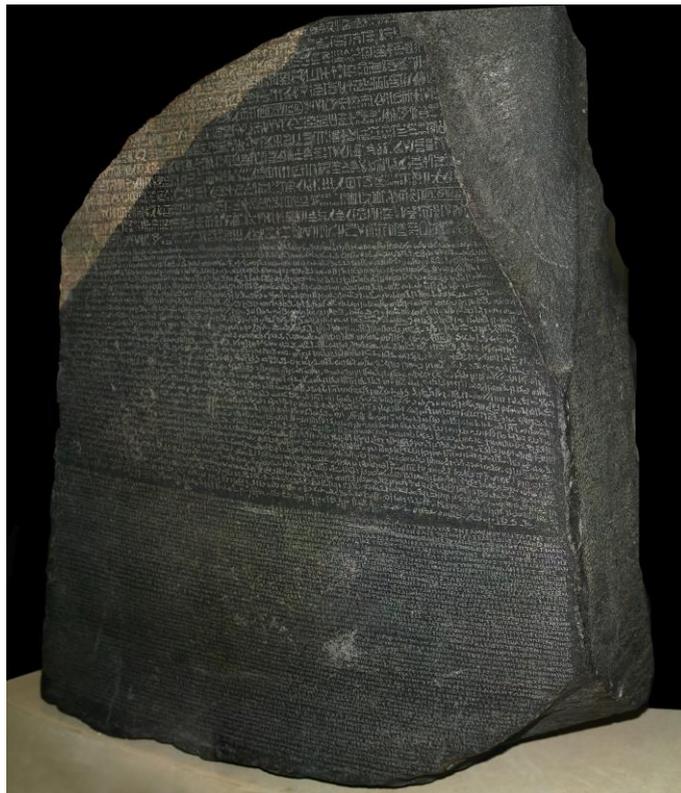


Рис. 1. Розеттский камень.
©Hans Hillewaert, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3153928>

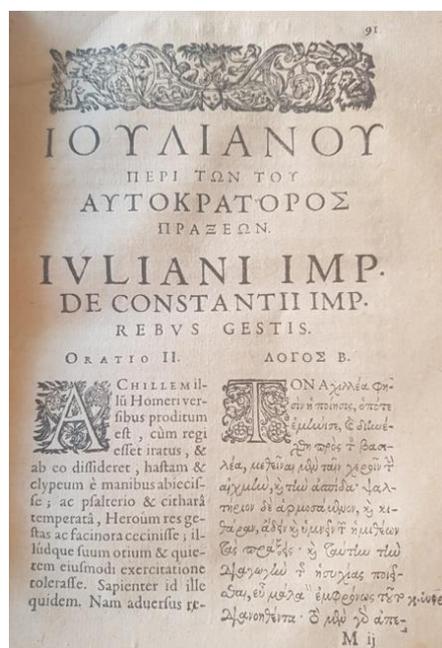


Рис. 2. Сочинения императора Юлиана. Париж, 1630. Из собрания автора

Казалось бы, каким образом эти достаточно старые исследования могут быть полезными на практике в современной компьютерной лингвистике? Однако многие достижения лингвистов оказываются незаменимым подспорьем в настройке нейронных сетей, например, в сфере машинного перевода. Так, исследователи из команды Facebook

в 2020 году показали, что применение знаний о классификации языковых семей с выделением в каждой группе главных языков, позволяет резко повысить точность перевода на редко встречающиеся языки [2]. Благодаря этой работе становится доступным перевод с любого языка на любой минуя английский язык, что благоприятно сказывается на качестве перевода.

Однако на современном этапе сравнительные исследования не должны останавливаться только на исследовании содержательной стороны языка. Интересные результаты даёт применение последовательностей процессов обработки информации у одних субъектов обработки информации к другим. Например, в 2021 году была опубликована статья, в которой было представлено, каким образом происходит обработка текстовой информации в нейронной сети фруктовой мухи [3].

Дальнейшее улучшение работы с естественным языком требует углубления исследований в сфере собственно языковых исследований и расширения объектов сравнения. В первую очередь предлагается пойти по пути дальнейшего расширения сравнительного анализа процедур обработки информации с помощью различных нейронных сетей, что позволит выявить оптимальные методы обработки для каждого специфического объекта. Кроме того, углублённый анализ текстов с привлечением опыта лингвистической компаративистики (в том числе в сфере выявления пра-языков) позволит достичь значительных успехов в обработке естественного языка программными методами.

В дальнейшей работе планируется реализовать практическое применение этих методов и провести сравнительное тестирование результатов на основе общепринятых метрик.

Литература

1. Пищальникова В.А., Сонин А.Г. Общее языкознание: Учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Р. Валент. 2017.
2. Fan A. et al. Beyond English-Centric Multilingual Machine Translation. 2020.[Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2010.11125> (дата обращения: 24.2.2021).
3. Liang Y. et al. Can a Fruit Fly Learn Word Embeddings? 2021.[Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/2101.06887> (дата обращения: 24.2.2021).

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ «БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ; СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКА».....	4
Абышев О.А. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СЕРВИСА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ «COMPOSITE DESIGNER» В ИНДУСТРИАЛЬНОЙ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЕ.....	5
Aldarf A., Shaker A. ACCELERATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS TRAINING TIME USING GRAPHICAL PROCESSORS.....	19
Ali W. EMG DRIVEN UPPER LIMB MUSCULOSKELETAL MODEL FOR MUSCLE FORCE ESTIMATION.....	24
Сергеев А.С., Алифанова И.Е. АКУСТИЧЕСКАЯ ТЕНЗОМЕТРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.....	31
Алюков Д.Ю. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ АУДИТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ СКРЫТОМУ ДЕСТРУКТИВНОМУ ИНФОРМАЦИОННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ В РОЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	37
Бабич А. А. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ КАЛИБРОВКИ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ.....	40
Басова Т.В. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ РЕЗЬБОВЫХ ФРЕЗ НА СТАНКЕ С ЧПУ.....	45
Бахтиярова А.Ш., Бudyко М.Б., Бudyко М.Ю., Гирик А.В., Павлов С.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛГОРИТМА СТОХАСТИЧЕСКОГО ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА НА КАЧЕСТВО ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	48
Беляев П.Ю. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ-ОРИЕНТИРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ИЗВЕСТНОМ УЧАСТКЕ МЕСТНОСТИ.....	54

Богомолов Д.М. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК ЗАЩИТЫ СИСТЕМ «УМНЫЙ ДОМ» НА БАЗЕ АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ СЕТИ.....	58
Власова М.А., Шевченко А.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО ГИРОСКОПА ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЕГО ГАЗОВОЙ ЯЧЕЙКИ.....	63
Волянский Д.И. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧЕТВЕРОНОГОГО ГАЛОПИРУЮЩЕГО РОБОТА С НОГАМИ ВИДА «МИНИТАУР» С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИНЦИПОВ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	67
Бу Лам Хань, Чан Зуи Хань, Комаров И.И. МОДЕЛЬ БЛОКЧЕЙНА ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ ДВИЖЕНИЕМ.....	71
Горбачев Я.Г. МЕТОД ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЛЕРА.....	76
Городянский П.О., Кайсина И.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОЙ ПОСАДКИ БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СРЕДСТВА В НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	82
Дакуо Ж.-М. Н. СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ БЛОЧНЫХ ЛЕГКОВЕСНЫХ ШИФРОВ ОТ АТАК ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО КРИПТОАНАЛИЗА, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ВНЕДРЕНИЕ АДАПТИВНЫХ ОШИБОК.....	88
Данешманд Б.М. ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ 5G/IMT-2020.....	93
Деревцов Д.И. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МНОГОФАКТОРНОЙ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	99
Домницкий Е.А. АДАПТАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТА ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ СИМУЛЯЦИИ V-REP.....	102
Jaroukh A. BENCHMARKING REAL-TIME MOTION PLANNERS FOR KUKA IWA REDUNDANT MANIPULATOR.....	107

Жданова М.В. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА В ТРАНСПОРТЕ И НЕФТЕДОБЫЧЕ.....	110
Завитаев А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕРНО-МАГНИТНОГО ГИРОСКОПА.....	114
Завьялов В.С. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	117
Зименко К.В., Афанасьев М.Я. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ В РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ЧПУ С ОТКРЫТОЙ АРХИТЕКТУРОЙ.....	125
Золоедов Е.В. РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ АУКЦИОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ МЕЖДУ УЧАСТНИКАМИ РОЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	131
Иванова А.Е. АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННОГО СОЦИОКУЛЬТУРНОГО ИНТЕРНЕТ-ПРОСТРАНСТВА: ИСТОЧНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ.....	134
Ким Ю.В., Кайсина И.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ ПОСАДКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В СЛУЧАЯХ ИСКАЖЕНИЯ ВХОДНОЙ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	139
Колесникова Д.В. ОСОБЕННОСТИ ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПЛАНИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА.....	146
Малый В.В. СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ПРИЕМНОГО БЛОКА ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ.....	151
Mahmoud J. MACHINE LEARNING BASED IMAGE SEGMENTATION ALGORITHMS FOR MAPPING.....	156
Михайлов В.В. АНАЛИЗ И ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ШИФРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СООБЩЕНИЙ В РОЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	161

Мохаммад Р. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПОЗВОНОЧНИКА НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ СКОЛИОЗА.....	163
Муратова У.Д., Бурым Н.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАТ-БОТА.....	167
Мыськив И.И. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ИНДУСТРИИ 4.0.....	171
Насонов К.В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБКОГО СОЧЛЕНЕНИЯ В ВИДЕ ПСЕВДО-ТВЕРДОГО ТЕЛА ДЛЯ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА.....	176
Нгуен Хак Тунг, Власов С.М. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ НАВОДНОГО СУДНА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ РЕГРЕССОРА И СМЕЩЕНИЯ.....	181
Неверов Е.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕСТРОЕНИЯ МАРШРУТА СЛЕДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА В УСЛОВИЯХ ВОЗМОЖНЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ И ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЙ.....	185
Павлов А.В. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ ГРУПП АТАКУЮЩИХ В СИСТЕМАХ АНАЛИЗА СОБЫТИЙ ИБ.....	189
Пенин А.С. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА МОЗГ-КОМПЬЮТЕР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДРОНАМИ.....	192
Перфильев В.Э. КОМБИНИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ МОШЕННИЧЕСКИХ ТРАНЗАКЦИЙ БЕЗ УЧИТЕЛЯ И С УЧИТЕЛЕМ В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО БАНКОВСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.....	197
Петровская М.Р. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО К ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ АЛГОРИТМА ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВОГО ВОДЯНОГО ЗНАКА В НЕПОДВИЖНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ.....	203
Радченко В.Д. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ.....	209

Роечко Д.В. АНАЛИЗ АКТУАЛЬНЫХ УЯЗВИМОСТЕЙ В ИСХОДНЫХ КОДАХ ПРОЕКТОВ НА ЯЗЫКЕ C# И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ.....	214
Татаров Д.А. РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА НАБОРОВ ТРАНЗАКЦИЙ НА ОСНОВАНИИ СЦЕНАРИЕВ ПОВЕДЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ.....	221
Темирбеков А. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОРОШКОВОЙ ПОКРАСКИ.....	227
Чурбанова А.В. ИЗМЕРЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИНХРОНИЗАЦИИ В ЖИВОМ ОРГАНИЗМЕ.....	231
Колюбин С.А., Шабанов К.А. КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ.....	234
Shaker A., Aldarf A. USING BELL INEQUALITY TEST FOR ANALYZING AND RETRIEVING INFORMATION IN THE ARABIC LANGUAGE.....	240
Югай К.М. ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА ПЯТИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ.....	245
Юдин С.А., Ашарчук А.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ВИБРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ.....	249
Юрьев Р.Н. КОМПАРАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В NLP.....	253

**АЛЬМАНАХ
НАУЧНЫХ РАБОТ
МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ
Университета ИТМО**

Том 2

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Вёрстка

Я.Я. Платунова

Подписано к печати 26.10.2021

Заказ № 4525 от 26.10.2021

Тираж 100 экз.

Печатается в авторской редакции

Отпечатано: Учреждение «Университетские коммуникации»
199034, Санкт-Петербург, В.О., Биржевая линия, 16

ISBN 978-5-7577-0649-8



9 785757 706498

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49