

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»



**Информационные технологии и системы 2022
(ИТС 2022)**

Материалы международной научной конференции
(БГУИР, Минск, Беларусь, 23 ноября 2022)

Information Technologies and Systems 2022
(ITS 2022)

Proceeding of the International Conference
(BSUIR, Minsk, Belarus, 23th November 2022)

Минск БГУИР 2022

УДК 004
ББК 32.81
И74

Редакционная коллегия:

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

Информационные технологии и системы 2022 (ИТС 2022) =
И74 Information Tehnologies and Systems 2022 (ITS 2022) : материалы
международной научной конференции, Минск, Беларусь, 23 ноября / Л. Ю.
Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2022.
ISBN

Сборник включает прошедшие рецензирование доклады международной научной конференции «Информационные технологии и системы 2022» (ИТС 2022).

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

Материалы сборника одобрены организационным комитетом и печатаются в авторской редакции.

УДК 004
ББК 32.973.202

ISBN

«Белорусский государственный
университет
информатики и радиоэлектроники», 2022

ПРЕДИСЛОВИЕ

23 ноября 2022 года в городе Минске прошла международная научная конференция «Информационные технологии и системы» (ИТС 2022, организованная факультетом информационных технологий и управления учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», базовой организации государств-участников СНГ по высшему образованию в области информатики и радиоэлектроники.

В течение дня на пленарном и пяти секционных заседаниях было представлено 78 докладов по следующим направлениям:

Секция «Системы управления»:

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

Секция «Интеллектуальные информационные технологии»:

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

Секция «Проектирование встраиваемых систем»:

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

Секция «Автоматизированные системы обработки информации»:

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

Секция «Математическое моделирование и компьютерная графика»:

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

В работе конференции приняли участие учёные и специалисты Республики Беларусь, Российской Федерации, Украины.

Докладчики представляли такие высшие учебные заведения как: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Института информационных технологий, Белорусский государственный университет, Белорусский государственный экономический университет, Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, Учреждение образования «Национальный детский технопарк», Белорусский государственный технологический университет, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Ташкентский университет информационных технологий, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Военная академия Республики Беларусь, Белорусский государственный университет транспорта, Бухарский государственный университет, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Люблинский Католический университет Яна Павла II.

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

ORGANISING COMMITTEE

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

PROGRAMME COMMITTEE

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

Пленарные доклады

Plenary session

МЕТОДЫ, ИНСТРУМЕНТЫ, ПРИМЕРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ГЕОДАННЫХ

Таранчук В. Б.

Кафедра компьютерных технологий и систем, Факультет прикладной математики и информатики,

Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

E-mail: taranchuk@bsu.by

Обсуждаются методические и технические вопросы применения и развития программной системы ГБД (ГеоБазаДанных) при создании и мониторинге постоянно действующих геолого-технологических моделей объектов нефтедобычи. Отмечены новые функциональные возможности, обеспеченные включением в ГБД исполняемых модулей интеллектуального анализа данных системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica. В частности, приведены и иллюстрируются примерами несколько технических решений при реализации с использованием методов кластерного анализа и искусственных нейронных сетей принятой методики адаптации модели резервуара по геологическим данным о строении и свойствах пластовой системы, по истории разработки объекта.

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование разработки нефтяных месторождений связано с проведением многовариантных расчетов технологических показателей, в которых оцениваются различные способы нефтеизвлечения. При этом прогнозируются добычные возможности скважин, выработанность пластов по различным участкам, коэффициент извлечения нефти. В вычислительных экспериментах по изучению процессов, происходящих при эксплуатации нефтяных месторождений, также прогнозируются режимы отборов скважин, изменение распределений нефтенасыщенности и давления, плотности запасов пластов. Прогноз может осуществляться на основе различных описаний, в частности, с использованием статистических или гидродинамических моделей. Изучение на основе гидродинамических моделей опирается, в основном, на информацию, получаемую при бурении и опробовании скважин, интерпретации результатов гидродинамических исследований, учитывается история разработки объекта. Гидродинамические модели основаны на строгих законах сохранения механики. Это их главное достоинство и основное отличие от статистических моделей. Расчеты по таким моделям требуют информации о распределении параметров пласта по всему объекту (объект трехмерный, параметры меняются во времени). Важна согласованность точности принимаемой модели подземной гидромеханики с неизбежной неточностью и неполнотой исходной информации о строении и свойствах пластовой системы [1]. При моделировании часто понятие «достоверная информация (параметры пласта)» подменяется понятием «правдоподобная информация». Последняя получается на этапах оцифровки, адаптации модели, представляющем собой способ распространения замеров по скважинам и другой имеющейся априорной информации на весь объект. Учитывая ло-

кальный характер информации по скважинам, невозможно однозначно определить строение и свойства пластовой системы в межскважинном пространстве. Получаемые при этом параметры объекта в общем случае могут не совпадать с его реальными характеристиками ([2]). Кроме того, численная реализация модели многократно повышает размерность задачи, и на объектах, эксплуатируемых десятками сотен скважин, размерность задачи достигает нескольких сотен тысяч, что делает использование компьютерной модели в производстве практически невозможным даже при наличии мощных суперкомпьютеров. Выход, видимо, существует только в создании соответствующих методик и настраиваемых исследователем с помощью компьютерных средств наборов входных данных, подменяющих истинную (априори неизвестную) информацию «правдоподобной». Получаться такая «правдоподобная» информация может на этапе адаптации, настройки модели [3, 4, 1].

1. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ АДАПТАЦИИ МОДЕЛИ НЕФТЯНОЙ ЗАЛЕЖИ

Полное описание методики, программного обеспечения создания и мониторинга в ГБД постоянно действующей геолого-технологической модели объекта нефтедобычи в приближении крупноблочного осреднения изложено в [1]. При разработке методики адаптации модели резервуара по геологическим данным о строении и свойствах пластовой системы, по истории разработки объекта учитываются: двухфазность фильтрационного потока; возможность наличия пропластков, т.е. многопластовость залежи, вскрытой системой нагнетательных и добывающих скважин; нестационарность режимов закачки и отборов по скважинам; неточность информации по проницаемости, пористости; неоднородность пластов; неполнота вскрытия пластов.

Методика, реализованные алгоритмы, соответствующие программные средства позволяют моделировать: двухфазную фильтрацию в коллекторе; основные режимы работы скважин; непроницаемость отдельных границ пластов и открытость других; влияние напора краевых и подстилающих вод; гидродинамическую связь между пластами и их отдельными участками.

Критериями готовности модели, правильности адаптации служат степень различия на контрольные моменты времени между фактическими и вычисленными: забойными давлениями (дебитами) на отдельных скважинах; обводненностями продукции на скважинах по отдельным участкам и по объекту в целом.

Результатами работы по методике являются рекомендации и инструкции: как уточнять параметры (мощность, пористость, проницаемость, нефте- и водонасыщенность) по объему резервуара, как выявлять притоки по границам; как подбирать функции модельных относительных фазовых проницаемостей (включая специально подобранные функции, которые могут отличаться от функций относительных фазовых проницаемостей, полученных по керну); как формировать цифровые поля распределений по площади объекта рассчитанных системой ГБД параметров пластов; как использовать информацию о тех граничных условиях, которые отличаются от условий, первоначально сформулированных проектировщиками и кураторами объекта (например, части границ, на которых условия непроницаемости в результате адаптации заменены условиями протекания и т.д.).

Модель конкретного объекта нефтедобычи считается адаптированной, если по результатам анализа расчетных данных можно судить о достижении необходимой точности в воспроизведении показателей истории разработки месторождения. Основная нагрузка в проведении подобного анализа ложится на экспериментатора. Он также выбирает и вносит те изменения во входные данные, которые смогут при дальнейших расчетах повысить точность модели.

II. СХЕМА ПРОЦЕССА АДАПТАЦИИ

В самом общем виде процесс адаптации можно представить как повторение до получения желаемой точности следующих действий: внесение изменений во входные данные, расчет модели, анализ результатов расчета. Именно такая схема реализована в системе ГБД, причем, она обеспечивает не только проведение многовариантных расчетов, но и сохранение в общей базе всех входных и выходных данных конкретного варианта, предоставляя средства создания нового варианта. Это позволяет рассчитать и сравнить между собой различные варианты, используя встроенные сервисные программы визуализации и анализа данных.

Весь программный комплекс ГБД можно представить работающим на нескольких уровнях. Первоначально существуют лишь исходные параметры об объекте моделирования, которые хранятся в архивах, базах данных геологов и промысловиков. Исходные данные интерпретируются и выполняется их преобразование к внутреннему формату системы; формируется набор входных данных создаваемой модели. На следующем уровне расположены выделенные в отдельные подсистемы программы формирования сеточной геологической модели объекта, системы блоков, расчета характеристик блочной геологической модели, сопровождения и сервиса для формирования и изменения граничных условий динамической модели, программа расчета динамической модели. В каждой из перечисленных подсистем имеются средства подготовки и передачи данных в специально разработанные программы визуализации и анализа результатов.

К настоящему моменту можно констатировать, что эксплуатация ГБД более 20 лет всегда осуществлялась при участии разработчиков системы и экспертов, когда адаптация проводилась путем многовариантных расчетов (в многих случаях это сотни), их сопоставлением, а успешность и скорость достижения желаемых результатов в основном определялись опытом и интуицией исполнителей. В текущем состоянии системы ГБД при ее дополнении исполняемыми модулями интеллектуального анализа данных системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica ряд процедур удается выполнять значительно быстрее благодаря применению решений, вытекающих из кластерного анализа [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе будут обсуждены методические и технические решения адаптации цифровых полей, являющихся основой компьютерных моделей; примерами из практики создания геологических моделей объектов нефтедобычи будут проиллюстрированы варианты повышения эффективности формирования, аппроксимации и интерпретации цифровых полей средствами кластерного анализа.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таранчук, В. Б. Компьютерные модели подземной гидродинамики / В. Б. Таранчук // Минск : БГУ, 2020. – 235 с.
2. Халимов, Э. М. Детальные геологические модели и трехмерное моделирование / Э. М. Халимов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2012. – № 3(7). – С. 1–10.
3. Азиз, Х. Математическое моделирование пластовых систем / Х. Азиз, Э. Сеттари // М. : Недра, 1982. – 407 с.
4. Булыгин, В. Я. Правдоподобное моделирование / В. Я. Булыгин // Казань : КГУ, 1985. – 170 с.
5. Taranchuk, V. Methodological and Technical Solutions for the Implementation of Clustering Algorithms in the GeoBazaDannych System / V. B. Taranchuk // Communications in Computer and Information Science book series (CCIS. Springer, Cham. International Conference on Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. OSTIS 2021). – 1625. – 2022. – P. 349–360.

МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ «ЗАТРАТЫ - ВЫПУСК»: ОПЫТ ПРИКЛАДНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Пархименко В. А., Быков А. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Белорусский государственный экономический университет

Минск, Республика Беларусь

E-mail: parkhimenko@bsuir.by, aliaksei.bykau@yandex.ru

В публикации рассматривается проблема моделирования экономических процессов, в первую очередь на макроэкономическом уровне. Дается краткое описание трех основных классов макроэкономических моделей. Делается вывод о перспективности использования моделей «затраты - выпуск» для макроэкономического анализа и прогнозирования в условиях структурных изменений глобальной экономики. Предлагается авторская классификация иерархии моделей «затраты - выпуск» и концепция их интеграции в единую синтетическую модель. Также рассматриваются конкретные примеры прикладного использования методологии «затраты - выпуск» для разных уровней экономической системы.

I. ВВЕДЕНИЕ

Для любой науки математическое моделирование является естественным и неотъемлемым инструментом, позволяющим количественно описать и проанализировать изучаемый объект реального мира, а также спрогнозировать его «поведение» под воздействием некоторых факторов в различных обстоятельствах. Экономическая наука - не исключение и является уже достаточно зрелой, чтобы также активно использовать инструментарий математического моделирования для решения большого круга прикладных задач, правда, с разной степенью успешности.

В литературе можно встретить анализ ряда объективных причин, ставящих под сомнение возможности экономической науки в полной мере полагаться на математические модели, как для объяснения, так и для прогнозирования.

В первую очередь речь идет о **природе самих экономических явлений**. Являются ли экономические связи и отношения в принципе однозначно определенными («жесткими») и устойчивыми во времени? Как правило, исследователи дают отрицательный ответ на оба эти вопроса.

Классическим примером может быть кривая Филлипа, показывающая связь уровня безработицы, с одной стороны, и уровня заработной платы (или – в другой формулировке – уровня инфляции), с другой. Филлипс использовал данные по Великобритании за 1861-1957 годы и получил достаточно устойчивую статистически значимую функциональную зависимость. Результат вполне согласовывался с положениями экономической теории и здравым смыслом. Однако в дальнейшем оказалось, что связь между безработицей и инфляцией не столь однозначна и уж точно не остается неизменной во времени. Исследователи стали говорить о семействе кривых Филлипа, о краткосрочной и долгосрочной

ее версиях, о ее сдвигах и изменении «наклона», об опосредовании связи «безработица - инфляция» ожиданиями экономических субъектов и даже вообще о ее принципиальном отсутствии. Кроме того, стали предполагать, что сама связь, описываемая кривой Филлипа, подвержена влиянию экономической политики государства, учитывающей, в том числе и предсказания... кривой Филлипа! Тем самым это приводит к некоторой самоподдерживающейся динамике, трудно поддающейся анализу и прогнозированию.

Еще одной проблемой выступает **проблема исходных данных**. Казалось бы, фиксация фактов повседневной хозяйственно-финансовой деятельности – задача тривиальная и давно решенная. Однако это не так. Огромный ассортимент продукции и масштабов экономической деятельности, постоянное и далеко не всегда предсказуемое изменение цен, в которых измеряются потоки товаров, платежей и ресурсов, появление инноваций, не имеющих аналогов в прошлом, разные методики учета, разные подходы к определению и расчету экономических показателей – все это и многое другое существенно усложняет получение точных, актуальных и сравнимых данных уже на уровне отдельного предприятия, отрасли или рынка.

Что касается уровня экономики в целом, т.е. макроуровня, национальное счетоводство (система учета экономических явлений в стране) само по себе – относительно недавний феномен: первый общепризнанный стандарт системы национальных счетов (СНС) появился лишь в 1953 году.

На уровне глобальной экономики до сих пор наблюдаются серьезные проблемы, связанные с гармонизацией статистических данных, получаемых в разных странах и регионах, так как используются различные национальные статистические классификации, национальные валюты

для измерения, национальные системы бухгалтерского учета и налогообложения и т. п.

Проблема **подходящего математического аппарата**, а также проблема **вычислительных мощностей**, упоминаемые еще несколько десятилетий назад как крайне важные, вероятно, отошли на задний план, существенно уменьшившись, если не полностью исчезнув, по крайней мере для тех классов задач, которые активно используются исследователями в рамках моделирования. Далеко в прошлом те времена, когда, например, получение обратной матрицы для решения системы из нескольких десятков линейных уравнений или применение симплекс-метода в задачах линейного программирования представляло собой отнюдь не тривиальную и крайне ресурсоемкую проблему.

Уже стало общепризнанным, что в настоящее время мировая экономика находится в стадии серьезной структурной перестройки. Несколько лет назад стали появляться первые признаки замедления процессов глобализации и усиления экономической интеграции на региональном уровне, потом «грянула» пандемия COVID-19, существенно нарушившая логистические и хозяйственные цепочки, наконец, стала накаляться геополитическая обстановка.

Происходящее требует как анализа и прогнозирования новых экономических феноменов, так и, по всей видимости, пересмотра арсенала используемых до сих пор моделей. Заложенная в такие модели «логика» поведения субъектов, вероятно, будет все больше и больше расходиться с их реальным поведением, именно поэтому модели, более простые с концептуальной и математической точек зрения и более близкие к наблюдаемым фактам, будут более востребованы и уж точно более понятны для лиц, принимающих решения.

Ниже авторы излагают свою точку зрения на то, каково сейчас состояние моделирования экономических процессов (в первую очередь на макроуровне) и каковы его перспективы, делая основной упор на модели класса «затраты - выпуск» как наиболее действенный инструментальный моделирования в настоящее время.

Эта методология имеет как серьезную обеспеченность данными со стороны статистических органов большинства стран мира в форме официально публикуемых на регулярной основе таблиц «затраты - выпуск», а также хорошо развитый математический аппарат и инструментальные средства для решения формулируемых в рамках этой методологии задач.

Не стоит ожидать, что в этом «нежесткость» и «текучесть» экономических законов может раз и навсегда перестать быть проблемой, однако представляется, что с решением прикладных задач модели «затраты - выпуск» в руках

грамотного экономиста-аналитика справляются вполне неплохо.

II. ТРИ ОСНОВНЫХ КЛАССА МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Отталкиваясь от классификации, встречаемой в литературе, дадим краткую характеристику существующим в настоящий момент основным подходам к моделированию национальной экономики.

Макроэконометрические модели. Эти модели представляют собой совокупность (систему) нескольких сотен математических уравнений, связывающих между собой макроэкономические параметры национальной экономики. Такие уравнения строятся на основе исторических данных и формализуют сложившиеся за определенный временной период устойчивые связи между различными макроэкономическими процессами. Например, объем потребления товаров и услуг домашними хозяйствами может выражаться функциональной зависимостью от размера располагаемого национального дохода на душу населения, уровня инфляции, ставки подоходного налога и т.п.

Часть переменных в таких моделях будет эндогенными (внутренними, т.е. определяемыми через уравнения на основе других переменных), а другая часть – экзогенными (внешними, т.е. берущимися как заданные). Подставляя в систему уравнений прогнозные (сценарные) значения экзогенных переменных (например, цену импортируемой нефти, курс национальной валюты и т.п.), можно получить прогнозные значения эндогенных переменных.

Слабой стороной любых эконометрических моделей традиционно называют их высокую степень агрегированности, ориентированность на прошлое и на выявление формальных статистически значимых зависимостей в данных без обязательного подкрепления положениями экономической теории. Кроме того, построение макроэконометрических моделей требует большого объема данных (временных рядов) в сопоставимой форме. С учетом того, что модели описывают поведение сотен переменных (например, в модели российской экономики QUMMIR содержится около 460 переменных и порядка 200 регрессионных уравнений, а сценарии развития формируются на основе порядка 200 экзогенных параметров), наличие подходящих исходных данных является существенной проблемой.

Несмотря на указанные недостатки и сложности, макроэконометрический подход остается весьма востребованным. Среди известных макроэконометрических моделей, разработанных и описанных в литературе в последние десятилетия, – LINK (мировая эконометрическая модель ООН, построенная на основе множества национальных эконометрических моделей),

MULTIMOD MARK III (многорегиональная эконометрическая модель МВФ мировой экономики), FKSEC (макрэконометрическая квартальная модель Нидерландов), MESANGE (квартальная макромодел французской экономики), MFMod (структурная эконометрическая модель Всемирного банка мировой экономики) [4], INTERLINK (модель ОЭСР экономик стран-участниц и всего остального мира), ECB-MC (модель Европейского центрального банка) [1], QUMMIR (уже упомянутая выше квартальная макроэкономическая эконометрическая модель, описывающая взаимодействия основных макропеременных экономики России), KazSTEM (экономика Казахстана) [2]. Часто для нивелирования указанных выше слабых сторон макроэконометрических моделей используют различные усовершенствования. Один из подходов – это использование вместо агрегированной модели на уровне национальной экономики системы дезагрегированных, но связанных моделей. Например, в [10, 11] разработана дезагрегированная макроэконометрическая модель российской экономики, содержащая следующие сектора: реальный сектор (включающий экспортно ориентированный сектор, внутренне ориентированный сектор, сектор естественных монополий), финансовый сектор и сектор домохозяйств.

Таким образом, макроэконометрические модели остаются мощным инструментом моделирования макроэкономических процессов на уровне национальной и мировой экономики. Их прогностическая способность особенно сильно проявляется в условиях относительно стабильной экономической ситуации. Модели строятся на основе исторических данных и учитывают исключительно сложившиеся тенденции в прошлом, поэтому в случае сохранения этих тенденций макроэконометрические модели позволяют получать достаточно обоснованные прогнозы. Однако при наличии существенных структурных изменений, в том числе экономических связей и отношений, использование макроэконометрических моделей без должной осторожности становится спорным, а их прогностическая способность падает неопределенным образом.

Вычислимые модели общего равновесия (CGE-модели). Модели этого класса базируются на предпосылке о том, что экономика автоматически приходит в состояние равновесия посредством системы цен.

В отличие от эконометрических моделей вычислимые модели общего равновесия реализуют многие фундаментальные принципы экономической теории: экономические субъекты ведут себя рационально и максимизируют свои доходы; транзакции осуществляются в условиях свободного рынка; система цен позволяет привести все рынки в состояние равновесия, т.е. равенства спроса и предложения; факторы произ-

водства взаимозаменяемы. Слабыми сторонами CGE-моделей обычно называют следующие: их построение – достаточно трудоемкая и дорогостоящая задача; они ориентированы на долгосрочное прогнозирование (так как процесс установления общего равновесия на всех рынках – процесс длительный) и плохо справляются с кратко- и среднесрочным прогнозированием; они подходят только для стран с рыночной экономикой, где распределение ресурсов, товаров и услуг осуществляется на конкурентных рынках со свободным ценообразованием.

CGE-модели довольно широко используются в мировой практике. В частности, среди известных моделей можно назвать FRB/US (используется Федеральной резервной системой США), ECB-BASE (применяется Европейским центральным банком), GEM (разработана и используется в МВФ).

Близкими, если не математически, то по общей концепции, к CGE-моделям выступают такие виды моделей, как динамические стохастические модели общего равновесия (DSGE-модели) [13], прикладные модели общего равновесия (AGE) [3] и мультиагентские модели (ACE).

Не сбрасывая со счетов наличие теоретического фундамента, следует помнить о недостатках рассматриваемого класса моделей. Важной проблемой их применимости выступает и то, что этот теоретический фундамент является неоклассическим. В краткосрочном периоде, а также в условиях значительных структурных сдвигов, верность неоклассических положений выглядит спорно.

Модели «затраты - выпуск». Подобные модели в своей основе содержат официально публикуемые статистические таблицы «затраты - выпуск», которые показывают потоки промежуточных товаров и услуг между всеми отраслями национальной экономики, а также потоки конечных товаров и услуг, потребляемых субъектами национальной экономики и поставляемых на экспорт.

Модель в своей классической формулировке представляет собой описание экономики набором технологий («рецептур») производства продукции и услуг по каждой из отраслей экономики: сколько для производства единицы (как правило, одного рубля) конкретной продукции требуется продукции и услуг других отечественных отраслей и импортируемых извне, а также сколько потребляется основного капитала (амортизационные отчисления), выплачивается заработной платы, прибыли и других доходов, налогов на единицу (один рубль) продукции.

Подобное описание экономики позволяет оценивать, какой объем производства отечественных товаров и услуг требуется для удовлетворения конечного спроса, задаваемого эндо-

генно (в рамках различных сценарных прогнозов), а также оценивать требуемый объем импорта, уровень занятости по отраслям и другие макроэкономические показатели.

С математической стороны классическая модель «затраты - выпуск» для одной отдельно взятой страны представляет собой предельно простейшую систему линейных уравнений, описывающих межотраслевые связи и конечное потребление на внутреннем и внешнем рынках.

В частности, для Республики Беларусь, по которой с 2010-х годов доступны отдельные данные по отечественным и импортным расходам по каждой из отраслей (видам экономической деятельности), авторы используют следующую модификацию модели в матричной форме:

$$X = (E - A_{domestic})^{-1} \cdot Y_{domestic}, \quad (1)$$

$$I = A_{import} \cdot X + Y_{import}, \quad (2)$$

$$GVA = \hat{V} \cdot X, \quad (3)$$

$$P_{domestic} = (E - A_{domestic}^T)^{-1} \cdot (Im + V + N), \quad (4)$$

где X – вектор-столбец выпуска отечественных товаров и услуг в основных ценах, в случае белорусской статистики его размерность 83×1 ;

E – единичная матрица размерности 83×83 ;

$A_{domestic}$ – матрица прямых затрат, построенная по данным промежуточного потребления отечественных товаров и услуг размерностью 83×83 ;

A_{import} – матрица прямых затрат, построенная по данным промежуточного потребления импортных товаров и услуг размерностью 83×83 ;

$Y_{domestic}$ – вектор-столбец конечного спроса (конечного использования) отечественных товаров и услуг размерностью 83×1 ;

Y_{import} – вектор-столбец конечного спроса (конечного использования) импортных товаров и услуг размерностью 83×1 ;

GVA – вектор-столбец прямой валовой добавленной стоимости по каждой из отраслей экономики (размерностью 83×1);

\hat{V} – диагональная матрица коэффициентов валовой добавленной стоимости, приходящейся на 1 рубль валового выпуска отечественных товаров и услуг в основных ценах размерностью 83×83 ;

$P_{domestic}$ – вектор-столбец индекса основных цен на отечественные товары и услуги размерностью 83×1 ;

T – знак транспонирования матрицы;

Im, V, N – векторы-столбцы размерностью 83×1 , описывающие соответственно долю промежуточного импорта, валовой добавленной стоимости и налогов, приходящихся на единицу валового выпуска по каждой из отраслей.

Динамическая модель «затраты - выпуск» подразумевает дополнительное описание экономических процессов, а именно введение матрицы приростной капиталоемкости, которая показывает, сколько капитальных благ (по каждой из производящих эти блага отраслей) нужно для производства дополнительной единицы (одного рубля) продукции каждой из отечественных отраслей экономики. Изменяя значение конечного спроса со стороны домохозяйств, государства и заграницы (экспорт), становится возможным оценить необходимые объемы отраслевых выпусков и размер инвестиций для обеспечения возрастающего выпуска в будущих периодах времени.

Модели класса INFORUM [19] и подобные [21] являются интегрированными моделями, так как в качестве своего ядра используется модель «затраты - выпуск», однако многие дополнительные зависимости получают эконометрическими методами, а кроме того, в подобные модели могут встраиваться некоторые правила, характеризующие максимизирующее поведение потребителей.

Модели этого класса, как правило, реализуют следующую логику. На основе эконометрических моделей и задаваемых экзогенных переменных (например, цены на импортные товары и услуги, численность населения и трудовых ресурсов) делаются прогнозы конечного спроса со стороны домашних хозяйств, государства, заграницы и с точки зрения инвестиций в основной и оборотный капитал в разрезе всех представленных в модели продуктов. Далее на основе классической модели «затраты - выпуск» определяется необходимый размер выпуска каждого из продуктов, а также объем импорта. При этом речь идет о реальных, а не номинальных величинах. Затем осуществляется прогноз (эконометрическим методом) компонентов валовой добавленной стоимости, прежде всего, заработной платы. Исходя из прогноза на основе так называемой ценовой модели «затраты - выпуск», получают оценки цен и, следовательно, номинальные величины выпуска, валовой добавленной стоимости и иных макроэкономических агрегатов. Далее полученные результаты используются как входные данные для следующего цикла расчетов (на следующий прогнозный период).

Известными и упоминаемыми в литературе моделями «затраты - выпуск» в парадигме INFORUM являются: LIFT (экономика США), RIM (экономика России), JIDEA (экономика Японии), INFORGE (экономика Германии) и др.

Слабыми сторонами модели «затраты - выпуск» в том или иной модификации называют: ее линейный характер, отсутствие учета взаимозаменяемости факторов производства, большой срок подготовки статистических таблиц «затраты - выпуск» (в Беларуси это примерно год и 4 месяца), неустойчивость технологических коэффициентов во времени.

В то же время представляется, что именно модели «затраты - выпуск» «... являются моделями, насыщенными данными, реалистичными описаниями экономики, достаточно подробными для общения с представителями бизнеса, а также с государственными управляющими органами. ... Они являются более гибкими и реалистичными, чем модели вычислимого общего равновесия, более подробными и разумными, чем динамические стохастические модели. [Хотя] на их создание и поддержание требуется много времени и усилий, что не очень приветствуется в академическом мире. Кроме того, они не гарантируют результатов опасных событий (например, ипотечный бум) до ... того, как станет слишком поздно» [19].

Подводя краткий итог обзору существующих моделей макроэкономических систем, отметим, что будущее (по крайней мере, среднесрочное), по всей видимости, за интеграцией моделей разных классов в единый комплекс, однако ядром такого комплекса в любом случае будет являться модель «затраты - выпуск», опирающаяся на все более детализированное и оперативно формируемое статистическое описание экономических процессов на разных уровнях экономических систем.

III. ИЕРАРХИЯ ТАБЛИЦ «ЗАТРАТЫ - ВЫПУСК»

Отталкиваясь от научных публикаций, можно предложить следующую классификацию таблиц (моделей) «затраты - выпуск» с точки зрения уровня описываемой ими экономической системы (табл. 1).

Представленная таблица ни в коем случае не может считаться законченной с точки зрения перечисления описанных в литературе и используемых на практике информационных источников. В настоящее время методология «затраты - выпуск» получила новое рождение, и количество проектов, направленных на «оцифровывание» межотраслевых потоков на разных уровнях экономической системы.

Логично предположить, что развитие методологии «затраты - выпуск» пойдет, помимо прочего, по пути интеграции разноуровневых таблиц и моделей в единую систему, позволяющую рассматривать глобальную экономику в разном масштабе с разной степенью детализации.

Подробные анализ возможностей конкретной реализации в будущем такой интеграции раз-

ноуровневых моделей «затраты - выпуск» выходит за рамки данной публикации, однако следует отметить, что математический аппарат «затраты - выпуск» легко позволяет это сделать.

Еще создатель методологии - В. В. Леонтьев использовал в прикладных расчетах «деагрегацию» общей модели по подотраслям в одной конкретной сфере (в частности, с 5 до 36 подотраслей производства неметаллических материалов).

Таблица 1 – Иерархия таблиц/моделей «затраты - выпуск»

Вид	Объект моделирования	Пример
Мировые, глобальные (MRIO)	Мировая экономика	Eoga (190 стран) [6, 7]
Межстрановые (ICIO)	Несколько стран + «остальной мир»	WIOD (43 страны) [9], OECD-ICIO (45 стран), ЕАЭС МТЗВ 2016 (5 стран)
Национальные (NIOT)	Национальная экономика отдельной страны	Белорусские таблицы «затраты - выпуск»
Региональные, субнациональные (RIOT)	Область, район, провинция, земля и т. п. внутри страны	EMERGING (region) для 31 провинции Китая, EUREGIO (регионы внутри Европейского Союза)
На уровне города (CIOT)	Город	EMERGING (city-level) для Китая, PAPAIOS – муниципалитеты Японии
На уровне предприятия (EIOT)	Предприятие	Некоторые академические исследования

IV. ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ МОДЕЛЕЙ «ЗАТРАТЫ - ВЫПУСК»

Рассмотрим некоторые примеры прикладного использования авторами данной статьи моделей класса «затраты - выпуск» для анализа и прогнозирования макроэкономических процессов на национальном, региональном, межстрановом и глобальном уровнях.

Так, анализу был подвергнут **экономический рост Китая в 2010-2017 годах** [16]. В частности, авторы предлагают методику декомпозиции экономического роста на рост, вызванный внутренним спросом, и рост, вызванный экспортом, как по всей китайской экономике в целом, так и в разрезе отдельных ее отраслей.

Полученные результаты расчетов по данным межотраслевых балансов WIOD и ABD за 2000–2017 годы позволили в первом приближении сделать вывод об определяющем вкладе внутреннего спроса в экономический рост Китая в условиях активного денежно-кредитного стимулирования.

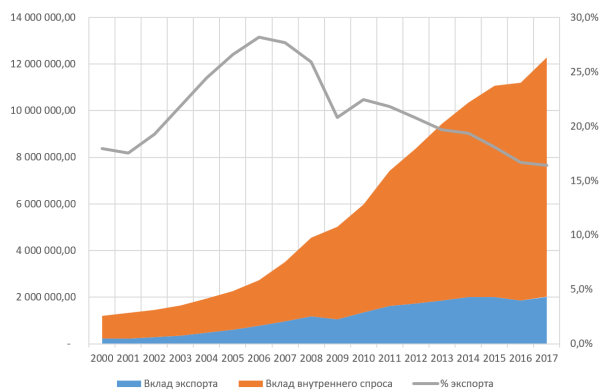


Рис. 1 – Декомпозиция ВВП Китая на внутренний и внешний спрос. Источник: авторские расчеты по данным WIOD и ABD

Для прогнозирования реакции экономики России на «локдаун» в условиях COVID-19 в 2020 году [17] использовались экспертные оценки падения исходя из оценок падения внутреннего конечного спроса по каждой из 98 отраслей, выделенных в системе таблиц «Затраты–выпуск». На основании этих оценок решалась прямая задача Леонтьева для определения валового выпуска, валовой добавленной стоимости и других макроэкономических показателей по экономике в целом и по каждой из отраслей.

Полученная в мае 2020 года прогнозная величина падения ВВП Российской Федерации (-4,3%) оказалась все-таки более пессимистичной по сравнению с фактическим годовым значением (-3,1%), однако, вероятно, свою роль сыграли меры государственной поддержки экономики в условиях пандемии.

Похожая задача решалась и для белорусской экономики, которая, как известно, является сверхоткрытой и подверженной серьезному влиянию такого фактора, как экспорт. В Беларуси режим «локдауна» не вводился, однако подобные режимы были в странах - торговых партнерах Беларуси, кроме того, возникали проблемы логистического характера, - все это осложняло экспортную деятельность. На основе методологии «затраты - выпуск» была осуществлена оценка межотраслевых мультипликативных эффектов, вызываемых экспортными шоками [26].

При этом использовалась концепция мультипликатора внешней торговли Харрода, учитывающая бесконечное число оборота денежных средств в экономике при условии их частичного

«вытекания» из-за расходов на импортные товары и услуги (так называемый import leakage).

Разработанная методика (рис. 2) позволяет учитывать специфику расходов домашних хозяйств, государства и коммерческих организаций, а также производить оценки не только в основных ценах, но и в ценах покупателей, т.е. с учетом чистых налогов на продукты и торговых и транспортных наценок.

Кроме того, разработанная методика позволяет при необходимости оценивать мультипликативные эффекты итерационно, т.е. по каждому шагу в отдельности.

Апробация методики была осуществлена в рамках оценки отраслевых мультипликаторов валового выпуска, валовой добавленной стоимости и ВВП не только для белорусской, но и для китайской и российской экономик.



Рис. 2 – Общая логическая схема методики расчетов межотраслевых мультипликативных эффектов

Моделирование реакции белорусской экономики на изменение обменного курса рубля [27] осуществлялось несколько более сложным способом: использовалась модифицированная ценовая модель Леонтьева для определения изменения цен на конечную продукцию белорусских отраслей экономики, далее прогнозировалось изменение конечного спроса на эту продукцию на внутреннем и внешнем рынках, наконец, оценивалось изменение основных макроэкономических показателей на основе классической модели Леонтьева.

По итогам осуществленных расчетов построены соответствующие функции реакции, отражающие изменение указанных макроэкономических показателей при разных уровнях обменного курса белорусского рубля (рис. 3).

Расчеты показывают, что девальвация национальной валюты при прочих равных приводит к росту выпуска и валовой добавленной стоимости за счет роста экспорта и положительному сальдо торгового баланса, однако при этом растет инфляция на внутреннем рынке (импорт-

ные и отечественные товары) и падает конечное использование на внутреннем рынке – конечное потребление и валовое накопление.

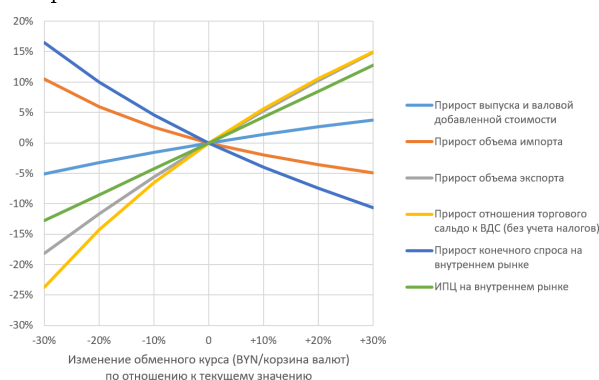


Рис. 3 – Функции реакции, отражающие изменение макроэкономических показателей при разных уровнях обменного курса белорусского рубля. Источник: авторские расчеты по данным таблиц «затраты - выпуск» Республики Беларусь за 2018 год

Использование модели «затраты - выпуск» для столь актуальной сейчас **оценки потенциала импортозамещения в белорусской промышленности** [14] позволило получить оценки импортоемкости отечественной промышленной продукции, потребляемой на внутреннем и внешних рынках, а также оценки потенциальных мультипликативных эффектов в экономике.

Основными результатами осуществленных модельных расчетов является: определение машиностроительной продукции в качестве актуального приоритета импортозамещения; оценка влияния прямых и мультипликативных эффектов на размер ВВП при разном уровне импортозамещения; демонстрация необходимости увязывания мер по импортозамещению с денежно-кредитной политикой, направленной на стимулирование внутреннего спроса в пределах, ограниченных сальдо торгового баланса.

В качестве обобщающего вывода всего исследования и главной рекомендации предлагается стратегия развития обрабатывающей промышленности Беларуси через замещение прямого и косвенного импорта отечественной продукцией по группе ВЭД «Машины, оборудование» в одной из трех возможных форм: 1) в рамках комплексной государственной программы; 2) с подключением партнеров из ЕАЭС промышленной кооперации; 3) с привлечением прямых иностранных инвестиций, в частности, из КНР, для чего необходимо создать благоприятный климат.

Проведенный по данным белорусских таблиц «затраты - выпуск» за 2018 год анализ позволил количественно оценить **влияние различных факторов немонетарного характера на рост цен в белорусской экономике** [28]. В частности, показал, что известные отечественным экономистам факторы инфляционных процессов сохраняют свою значимость и сейчас. Но-

минальный рост заработной платы, увеличение цен на импортные товары и услуги (в том числе ввиду девальвации национальной валюты) – основные драйверы роста цен в белорусской экономике. Изменение доходности основного капитала, возможно, менее исследованный фактор, хотя его значимость вполне заметная. Влияние налогов и различного рода наценок (транспортных, торговых) по отношению к упомянутым уже факторам относительно небольшое.

Использование межстрановых таблиц «затраты - выпуск» позволило провести **анализ структурных характеристик экономики ЕАЭС** [24, 25].

В частности, была осуществлена визуализация матрицы коэффициентов прямых затрат, при этом на разных итерациях выбирались коэффициенты, большие пороговой величины.

Например, на рисунке ниже показаны коэффициенты со значением, большим 1/207 (исходя из предложенного в литературе критерия, равного значению одного доллара выпуска в основных ценах, приходящегося в среднем на один компонент цены, т.е. статью прямых затрат, затрат импортной продукции и валовой добавленной стоимости, в случае МТЗВ ЕАЭС это 207).

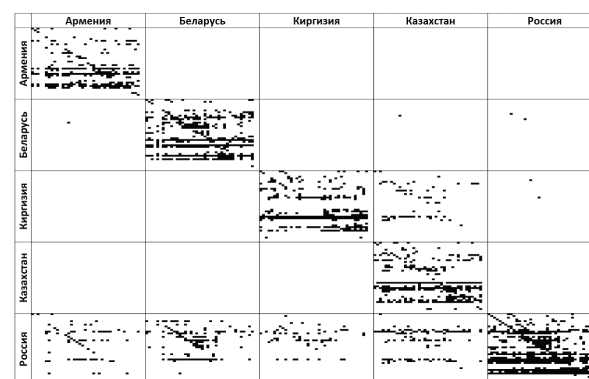


Рис. 4 – Визуализация матрицы коэффициентов прямых затрат (a_{ij}) МТЗВ ЕАЭС для порогового значения $a_{ij} > 1/207$

В качестве основных результатов, полученных в исследовании, следует отметить следующее.

Проведенный анализ свидетельствует, что существует огромный и еще не использованный потенциал развития интеграционных процессов внутри ЕАЭС, что, пожалуй, соответствует мнению всех экспертов, занимающихся евразийской экономической интеграцией.

Следует констатировать, что по состоянию на 2016 г., судя по оценкам размера валовой добавленной стоимости, содержащейся в потоках конечной продукции ЕАЭС, взаимодействие стран – членов ЕАЭС с остальным миром более тесное, чем внутри ЕАЭС. Для Беларуси об этом свидетельствует и тот факт, что белорусский ВВП только на 18,6% формируется за счет экспорта в страны – партнеры по ЕАЭС, а на

24,3% – за счет экспорта в страны остального мира.

Интеграция в ЕАЭС осуществляется при доминирующей и связующей роли России, экономическое взаимодействие иных членов ЕАЭС на этом фоне выглядит незначительным – это видно из абсолютного преобладания в ЕАЭС потоков конечной продукции из России (по добавленной стоимости), идущих на внутрисоссийское потребление, в страны – партнеры ЕАЭС и другие страны мира. Также значительная доля российской добавленной стоимости в общем объеме валовой добавленной стоимости продукции Армении, Беларуси, Казахстана и Кыргызстана. Утверждение о доминировании российской экономики естественным образом ожидаемо и совпадает, например, с выводами, сформулированными в других исследовательских работах.

Вклад белорусской экономики в совокупный условный торговый баланс ЕАЭС с остальным миром положительный, что тем самым свидетельствует и о положительном вкладе Беларуси в конкурентоспособность и устойчивость ЕАЭС на глобальном рынке.

Экономика ЕАЭС в сфере промежуточного потребления (производственной кооперации) интегрирована слабо, национальные экономики больше замкнуты на самих себя. Лишь 15,5% отраслей (в номенклатуре МТЗВ) в большей степени кооперированы (вперед или назад) с отраслями экономик стран-партнеров, чем с отраслями на внутреннем рынке. В той или иной степени, интегрирующими являются потоки сырьевых, энергетических ресурсов, кооперация в машиностроении крайне слабая.

Следует ожидать, что экономические процессы, идущие в глобальной экономике, а также текущая геополитическая ситуация приведут к существенной активизации интегративных процессов в экономике ЕАЭС, росту импортозамещающих производств и проектов. Думается, что именно машиностроительные отрасли окажутся в фокусе промышленной политики ЕАЭС.

Моделирование работы рыночного механизма в ответ на изменение объема предложения (возникновение дефицита) за счет адаптации цен и объемов спроса было рассмотрено на примере немецкой экономики в условиях нарушения поставок природного газа. Как показывают расчеты, равновесие достигается при цене газа 1600–2000 долл. США за 1000 м³, а прогнозный спад ВВП в этом случае составит 1,6–2,1%. Наибольший вклад в снижение ВВП внесут отрасли, которые прямо и косвенно (через использование продукции других энергоемких отраслей) потребляют наибольшие объемы природного газа: электроэнергетика, химическая промышленность, производство стройматериалов, бумаги, металлургия.

В рамках моделирования **иерархической структуры глобальных цепочек стоимости** [15] проводился анализ долгосрочных тенденций и закономерностей, связанных с процессами международной производственной кооперации в рамках глобальных цепочек стоимости, для определения перспектив белорусской экономики в глобальной и региональной системах разделения труда и формирования для нее рекомендаций стратегического порядка.

Исходной предпосылкой для исследования послужила гипотеза о фрагментированной структуре цепочек стоимости, состоящих из глобальных, региональных и национальных сегментов. Количественная оценка доли каждого сегмента в динамике для мировой экономики и ее крупнейших экономических регионов указывает на общие тенденции развития производственной кооперации. Методология исследования – статистический анализ «затраты–выпуск» и иные методы количественного анализа данных с использованием языка R.

Информационной базой исследования выступили аналитические отчеты международных организаций и консалтинговых компаний, а также данные межрегиональных таблиц WIOD и Eora.

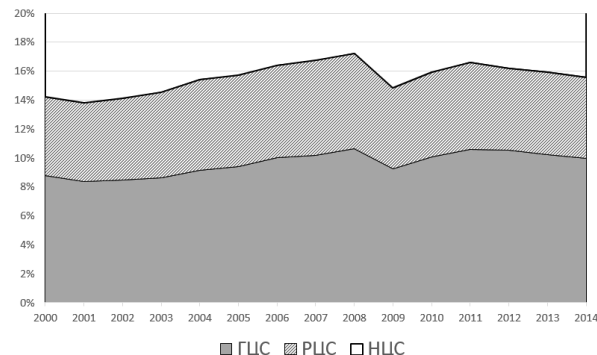


Рис. 5 – Доля национальных (НЦС), региональных (РЦС) и глобальных (ГЦС) цепочек стоимости в промежуточном потреблении мировой экономики. Источник: авторские расчеты по данным WIOD

Анализ показал, что в промежуточном потреблении мировой экономики в целом доля НЦС составляет в среднем 85%, РЦС – 6% и ГЦС – 9%, и эта пропорция с течением времени мало меняется. По наукоемким промышленным продуктам доля НЦС составляет 78%, РЦС – 9% и ГЦС – 13%, пик роста ГЦС и РЦС пришелся на 2007 год, затем доля национальной составляющей промежуточного потребления снова выросла.

Оценка структуры мировой наукоемкой промышленности – еще одна задача, которая решалась средствами методологии «затраты – выпуск» на основе данных таблиц Eora, WIOD и OECD-ICIO. Например, по данным таблиц «затраты – выпуск» WIOD была проанализирована динамика доли национального промежуточ-

ного потребления в общемировом промежуточном потреблении, для отраслей наукоемкой промышленности крупнейших экономик мира (рис. 6) – здесь отчетливо видны существенный рост доли Китая с 7% до 34% и довольно значительное «проседание» США и Японии. Подобное, по всей видимости, свидетельствует о росте межотраслевых связей внутри самого Китая и постепенного отхода от модели «простого сборочного производства для остального мира».

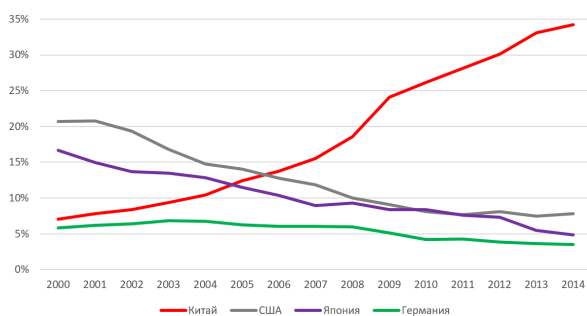


Рис. 6 – Динамика доли национального промежуточного потребления в общемировом промежуточном потреблении, для отраслей наукоемкой промышленности крупнейших экономик. Источник: авторские расчеты по данным WIOD

Более детальный анализ, однако, показывает, что китайская экономика пока еще зависит от импортируемой продукции наукоемкой промышленности, так как ее прямой и косвенный вклад в формирование внешнеторгового баланса отрицательный (рис. 7). Исключение составляют компьютерная и электронная техника и электрооборудование.

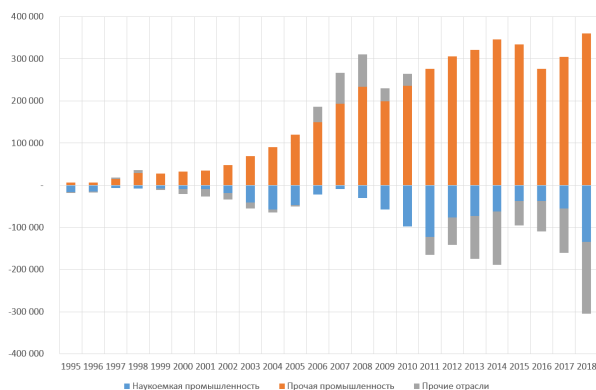


Рис. 7 – Вклад наукоемкой промышленности, прочих отраслей промышленности и прочих отраслей экономики в формирование торгового баланса с учетом создаваемой добавленной стоимости национального происхождения и объемов импорта. Источник: авторские расчеты по данным OECD-ICIO

V. КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ «ЗАТРАТЫ - ВЫПУСК» ПО ИСПОЛЬЗУЕМОЙ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЕ

Обобщая рассмотренные выше примеры, отметим, что еще одной возможной классифи-

кацией прикладного использования моделей «затраты - выпуск» (помимо их привязки к уровням экономической системы) может быть разделение их на такие категории:

- аналитические (смотри выше, например, описание задачи об определении вклада внешнего и внутреннего спроса в формирование ВВП или анализ глобальных цепочек стоимости);
- прогностические (смотри, например, оценку возможной реакции экономики России на пандемию COVID-19 в 2020 году или белорусской экономики – на девальвацию или ревальвацию национальной валюты).

В свою очередь прогностические модели могут различаться, исходя из закладываемой в них макроэкономической парадигмы. При этом следует отметить, что «затраты - выпуск» – это прежде всего прикладной инструментальный экономического анализа и прогнозирования, созданный и используемый без оглядки на ту или иную школу макроэкономической мысли. Пользуясь известным разделением Г. Мэнкью [8], можно сказать, что «затраты - выпуск» относится в первую очередь к «инженерной» составляющей экономической науки. Если все-таки попытаться определить то теоретическое направление, к которому принадлежит методология «затраты - выпуск», то некоторые авторы скорее относят его к классической экономической теории [5]. Представляется, однако, что такое строгое отнесение будет лишь ограничивать исследователя. С нашей точки зрения, возможно применение прогностических моделей «затраты - выпуск», как минимум, в трех вариантах, исходя из используемой макроэкономической парадигмы:

- плановой экономики, подразумевающей наличие управления экономикой как единой системой с целью максимизации ВВП или другого макроэкономического показателя (смотри, например, оптимизационную модель и прогноз в [12]);
- кейнсианской/посткейнсианской, в рамках которой предполагается наличие незагруженных производственных мощностей и незанятых трудовых ресурсов, существует необходимость и возможность активизировать экономику за счет стимулирования внутреннего спроса и наблюдаются мультипликативные эффекты (смотри рассмотренный пример оценки межотраслевых мультипликативных эффектов выше);
- неоклассической, подразумевающей наличие эффективно функционирующего рыночного механизма, прежде всего ценового (например, как в описанном ранее подходе для оценки реакции немецкой экономики на остановку поставок российского природного газа).

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представляется, что модели класса «затраты - выпуск» - наиболее действенный инстру-

ментарий моделирования в настоящее время. Использование их в качестве ядра комплекса из моделей разных классов выглядит весьма перспективным с точки зрения статистического описания, анализа и прогнозирования экономических процессов на разных уровнях экономических систем.

- Banbura M., Christoffel K. ECB models and forecasting tools. URL: https://www.ecb.europa.eu/pub/conferences/shared/pdf/20190701_CBS2019/ecb.CBS2019_Christoffel_Banbura_ECB_models_and_forecasting_tools_presentation.en.pdf
- Bibigul A. The KazSTEM macroeconomic forecasting model of Kazakhstan. URL: <http://inforumweb.inforumecon.com/papers/conferences/2009/bibigul.pdf>
- Borges A. M. Applied general equilibrium models: an assessment of their usefulness for policy analysis // OECD Economic Studies. – 1986. – Т. 7. – С. 15.
- Burns A. et al. The World Bank macro-fiscal model technical description // World Bank Policy Research Working Paper. – 2019. – №. 8965.
- Heinz D. Kurz & Neri Salvadori (2000) 'Classical' Roots of Input-Output Analysis: A Short Account of its Long Prehistory, *Economic Systems Research*, 12:2, 153-179.
- Lenzen, M. Building Eora: A Global Multi-regional Input-Output Database at High Country and Sector Resolution / M. Lenzen, K. Kanemoto, D. Moran, A. Geschke // *Economic Systems Research*. – Vol. 25. – № 1. – P. 20-49.
- Lenzen, M. Mapping the structure of the world economy / M. Lenzen, K. Kanemoto, D. Moran, A. Geschke // *Environmental Science and Technology*. – 2012. – Vol.46. – №15. – P. 8374–8381.
- Mankiw, N, Gregory. 2006. "The Macroeconomist as Scientist and Engineer." *Journal of Economic Perspectives*, 20 (4): 29-46.
- Timmer, M. P. An Illustrated User Guide to the World Input-Output Database: the Case of Global Automotive Production / M. P. Timmer, E. Dietzenbacher, B. Los, R. Stehrer, G. J. de Vries // *Review of International Economics*. – 2015. – Vol. 23. – №3. – P. 575--605.
- Айвазян С. А., Бродский Б. Е. Макроэконометрическое моделирование: подходы, проблемы, пример эконометрической модели российской экономики // *Прикладная эконометрика*. 2006. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/makroekonometricheskoe-modelirovanie-podhody-problemy-primer-ekonometricheskoy-modeli-rossiyskoy-ekonomiki>.
- Айвазян С.А., Березняцкий А.Н., Бродский Б.Е. Макроэкономическое моделирование российской экономики // *Прикладная эконометрика*. 2017. №3 (47). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/makroekonometricheskoe-modelirovanie-rossiyskoy-ekonomiki>.
- Акулич, В.А. Открытие экономики Беларуси как источник экономического роста / Злотников Л.К., Акулич В.А. // *Банковский вестник Нацбанка Беларуси*. №3. 2018. С. 3-8
- Безбородова А.В., Михаленок Ю.М. DSGE-модель для Беларуси: анализ трансмиссионного механизма экономической политики. URL: https://www.nbrb.by/bv/arch/suppl_46.pdf
- Быков А.А., Пархименко В.А. Импортзамещение в белорусской промышленности: потенциал, эффективность, моделирование // *Белорусский экономический журнал*. – 2022. – №1. – С. 79-96.
- Быков А.А., Пархименко В.А., Седун А.М. Иерархическая структура цепочек стоимости: статистический анализ по данным WIOD и Еора // *Белорусский экономический журнал*. – 2021. – №1. – С. 45-58.
- Быков А.А., Толкачев С.А., Пархименко В.А., Шаблинская Т.В. Экономический рост Китая в 2010-2017 годы: анализ с позиций методологии «затраты-выпуск» и современной денежной теории. *Финансы: теория и практика*. 2021;25(2):166-184.
- Быков, А. А. Влияние COVID-19 на российскую экономику: методологические подходы к оценке на основе межотраслевого баланса / А.А. Быков, В. А. Пархименко, С.А. Толкачев // *Белорусский экономический журнал*. – 2020. – №2. – С. 25–37.
- Демиденко, М. В. Модель среднесрочного прогнозирования и проектирования денежно-кредитной политики Республики Беларусь : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук по специальности 08.00.13 — математические и инструментальные методы в экономике / М. В. Демиденко ; УО «Белорусский государственный экономический университет». – Минск, 2011. – 24 с. URL: http://edoc.bseu.by:8080/bitstream/edoc/90579/1/k_Demidenko_e.pdf
- Клоппер А. Межотраслевые модели INFORUM: происхождение, развитие и преодоление проблем // *Проблемы прогнозирования*. 2016. №2 (155). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhotraslevye-modeli-inforum-proishozhdenie-razvitie-i-preodolenie-problem>.
- Кравцов М.К., Бурдыко Н.М., Гаспадарец О.И., Шинкевич Н.Н., Картун А.М. Эконометрическая макро модель для анализа и прогнозирования важнейших показателей белорусской экономики // *Прикладная эконометрика*. 2008. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonometricheskaya-makromodel-dlya-analiza-i-prognozirovaniya-vazhneyshih-pokazateley-belorusskoy-ekonomiki>.
- Кравцов М.К., Гладкая А.А., Дехтярь Т.А. Прогнозирование основных параметров социально-экономического развития Республики Беларусь на основе динамической межотраслевой модели // *Белорусский экономический журнал*. – 2020. – № 2. – С. 4-24.
- Мусил К., Пранович М., Влчек Я. Структурная модель квартального прогнозирования для Беларуси. Рабочий документ МВФ. URL: <https://www.imf.org/~/media/Files/Publications/WP/2018/wp18254.ashx>
- Общие характеристика модели среднесрочного проектирования монетарной политики национального банка Республики Беларусь. URL: <https://www.nbrb.by/mp/theoretical-materials/model-srednesrochnogo-proektirovaniya-mp.pdf>
- Пархименко В.А. Беларусь в ЕАЭС: анализ первых экспериментальных межстрановых таблиц «затраты - выпуск» // *Банкаўскі веснік*. – 2021. – № 12. – С. 46-53.
- Пархименко В.А. Некоторые структурные характеристики экономики ЕАЭС: анализ межстрановых таблиц «затраты - выпуск» // *Белорусский экономический журнал*. – 2022. – №3. – С. 25-36.
- Пархименко В.А. Оценка межотраслевых мультипликативных эффектов, вызываемых экспортными шоками // *Белорусский экономический журнал*. – 2021. – №3. – С. 40-57.
- Пархименко, В.А. Влияние изменения курса национальной валюты на макроэкономические показатели: оценка на основе методологии «затраты - выпуск» / В.А. Пархименко, А.А. Быков // *Белорусский экономический журнал*. – 2020. – №3. – С. 58-73.
- Пархименко, В.А. Оценка инфляционных эффектов в экономике Республики Беларусь посредством межотраслевой ценовой модели Леонтьева // *Экономический бюллетень Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь*. – 2021. – № 9. – С. 45-56.

Секция «Системы управления»

Section «Control systems»

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ ДВИЖУЩИХСЯ СРЕДСТВ

Авсяник Е. С., Деменковец Д. В.

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

E-mail: Avsyanik.ekaterina@gmail.com, Demenkovets@bsuir.by

В докладе описывается состав аппаратной части комплекса контроля движущихся средств. Также описываются функциональные возможности программного средства для обработки, анализа и визуализации данных полученных контроллером с датчиков.

ВВЕДЕНИЕ

Любая техника в наше время оснащена определенным набором датчиков. С помощью них устройство выполняет свои заданные функции. Например, устройство, которое есть у практически у каждого – смартфон, имеет определенный набор различных модулей, отвечающих за разнообразные функции. В число основных датчиков входят акселерометр, гироскоп, магнитометр, барометр, GPS, датчик освещенности, датчик приближения. Некоторые из этих датчиков входят в состав разнообразных движущихся средств, автомобилей, кораблей, самолетов, квадрокоптеров. Все эти средства имеют систему позиционирования, функционирование которой осуществляется с помощью GPS/Глонасс датчика, магнитометра и барометра. GPS использует спутники на орбите для определения местоположения во всемирной системе координат. Магнитометр (компас) для пространственной ориентации, работает с магнитным полем земли. Барометр отвечает за положение на высоте. Акселерометр и гироскоп используются обычно в паре для определения местоположения средства в пространстве и вычисления угла поворота. Акселерометр для измерения проекции ускорения, гироскоп для измерения угловой скорости вращения.

I. СОСТАВ И ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА

Программно-аппаратный комплекс включает в себя небольшое цифровое устройство сбора данных и программное средство визуализации, анализа и обработки этих данных [1]. Устройство устанавливается на движущихся средствах и выполняет сбор и накопление данных с датчиков, для последующего для последующего определения местоположение его на карте и в пространстве [2]. Программное средство выполняет импорт архива с устройства, обработку, визуализацию и анализ полученных данных.

В качестве основы аппаратной части устройства выступает микроконтроллер STM32. Данный контроллер в своем составе имеет ядро Cortex-M3, с максимальной частотой 72МГц,

размером флеш памяти 128Кб, статическим ОЗУ 20Кб [3].

К микроконтроллеру подключены следующие модули: датчик температуры и давления, акселерометр и гироскоп, GPS модуль, часы реального времени, модуль для работы с sd-картой.

Датчик температуры и давления BMP180, для измерения атмосферного давления и температуры окружающей среды. Точность измерения температуры ± 2 °C [4].

Модуль MPU6050 – 3-осевой акселерометр и 3-осевой гироскоп, интегрированные в один чип. Гироскоп измеряет скорость изменения углового положения во времени по осям X, Y и Z [5]. Для измерения используется технология MEMS и эффект Кориолиса. Выходные данные гироскопа измеряются в градусах в секунду. Полученные данные определяют положение модуля в пространстве. Модули BMP180 и MPU6050 подключаются к контроллеру по интерфейсу I2C. Внешний вид датчиков температуры и давления BMP180, 3-осевого акселерометра и 3-осевого гироскопа (см. рис. 1).

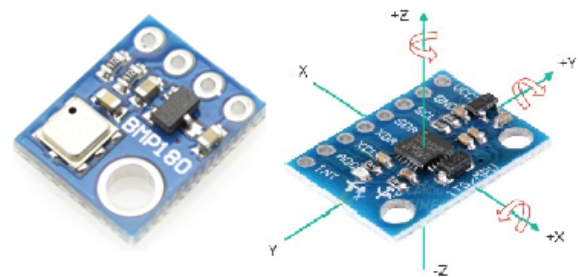


Рис. 1 – Модуль BMP180 и MPU6050

Для определения местоположения на карте в комплексе используется модуль GPS Тройка на базе чипа Neoway G7. Модуль принимает сигналы спутников глобального позиционирования — GPS, GLONASS и Galileo — и вычисляет свои географические координаты, скорость перемещения, высоту над уровнем моря и точное локальное время [6]. Данные с GPS модуля передаются по интерфейсу UART в формате текстовых сообщений NMEA. NMEA — это комбинированная спецификация данных для связи между морской электроникой, такой как эхолот, гидролока-

торы, анемометр, гироскоп, автопилот, GPS-приемники.

Модуль на основе чипа DS3231 является часами реального времени (RTC) и необходим для получения точного времени измерений. Погрешность составляет ± 2 минуты за год. Подключен к контроллеру по интерфейсу I2C.

Модуль для работы с SD-картой подключен к контроллеру по интерфейсу SPI и служит для сохранения всех измеренных данных с датчиков на карту памяти.

Внешний вид модуля GPS, часов реального времени и SD-карты памяти представлены на рисунке 2.

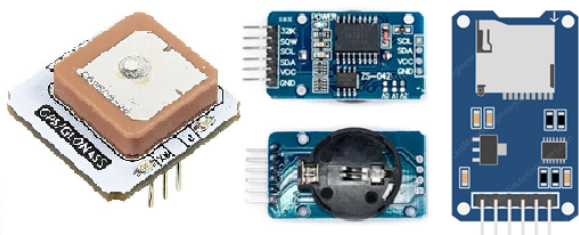


Рис. 2 – Модуль GPS, модуль часов реального времени, модуль SD-карты

Данные получаемые с датчиков сохраняются на SD-карте памяти в формате CSV. Файл значений, представляет собой текстовый файл, каждая строка которого представляет собой запись данных. Каждая запись состоит из одного или нескольких полей, разделенных запятыми.

В результате соединения всех модулей с контроллером было получено устройство способное определять свое положение в пространстве, широту, долготу, высоту над уровнем моря, скорость, направление движения и текущее время. Частота обновления данных с датчиков от 1 Гц до 20 Гц.

II. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА

Программное средство разработано под платформу .NET и обладает следующими функциональными возможностями.

- отображение значений получаемых с гироскопа и акселерометра в виде 3д-модели;
- получение и отображение информации о температуре, давлении, углах поворота, текущего времени и даты;
- отображение данных о перемещении и местоположении устройства на карте;
- отображение данных с модуля GPS, информация о дате, времени, широты, долготы, количестве спутников, участвующих в передаче данных, высоте над уровнем моря и скорости.

Пример работы программного средства представлен на рисунках 3 и 4.

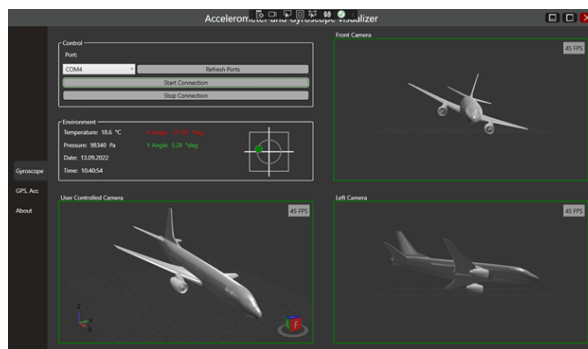


Рис. 3 – Пример работы акселерометра и гироскопа

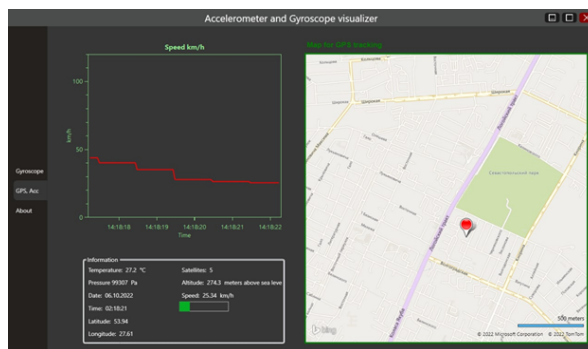


Рис. 4 – Пример работы программного средства

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный программно-аппаратный комплекс может использоваться для контроля перевезенных грузов, анализа качества дорожных покрытий. Также в дальнейшем он позволит анализировать и строить карты пройденных маршрутов движущимися средствами.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авсяник, Е. С. Программно-аппаратное средство визуализации работы акселерометра и гироскопа / Авсяник Е. С., Мередов К., Деменковец Д. В. // Компьютерные системы и сети : сборник статей 58 -й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 18 -22 апреля 2022 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2022. – С. 62 –64.
2. Авсяник, Е. С. Программно-аппаратный модуль мониторинга перемещения движущихся объектов / Е. С. Авсяник, Д. В. Деменковец // Веб-программирование и интернет -технологии WebConf2021 : материалы 5-й Международной научно -практической конференции, Минск, 18 -21 мая 2021 г. / Белорусский государственный университет ; редкол.: И. М. Галкин [и др.] – Минск, 2021. – С. 57 –58.
3. STMicroelectronics [Electronic resource] : RM008 Reference manual. – Mode of access: <https://www.st.com>. – Date of access: 20.10.2022.
4. RobotChip.ru Датчик давления BMP180 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://robotchip.ru/obzor-dat-chikadavleniya-bmp180>. – Дата доступа: 20.10.2022.
5. Brokking.net [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.brokking.net/imu.html>. – Дата доступа: 20.10.2022.
6. Amperka.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wiki.amperka.ru/products:toyka-gps-glonass-v2>. – Дата доступа: 20.10.2022.

ВЫДЕЛЕНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ ПРИ ДЕКОМПИЛЯЦИИ ТРАНЗИСТОРНОЙ СХЕМЫ

Черемисинова Л. Д., Черемисинов Д. И.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

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

Рассматривается задача, возникающая при восстановлении функционального описания цифровых устройств СБИС, представленных на транзисторном уровне. Предлагается метод и программное средство выделения компоненты, представляющей логическую сеть, из двухуровневого описания транзисторной схемы.

ВВЕДЕНИЕ

Основными инструментами автоматизированного проектирования и верификации современных СБИС, содержащих сотни миллионов транзисторов, стали средства декомпиляции транзисторных схем, которые позволяют построить иерархическое структурное описание на уровне логических элементов по плоскому структурному описанию схем на транзисторном уровне. В настоящей работе рассматривается задача формирования схемы, состоящей только из логических элементов, исходя из двухуровневого описания транзисторной схемы, полученной в результате декомпиляции СБИС [1].

Рассматривается наиболее распространенный стиль логики – логические комплементарные МОП-структуры. Предполагается, что декомпилированная схема может кроме распознанных КМОП элементов и передаточных логических элементов (pass gates), содержать также выделенные при декомпиляции псевдо элементы (нераспознанные как КМОП вентили), а также отдельные транзисторы.

Исходная транзисторная схема и полученная в результате декомпиляции двухуровневая транзисторная схема задаются в формате SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). Главной частью описания схемы в этом формате является список транзисторов, в котором для каждого вывода транзистора (сток, затвор, исток, подложка) указано имя цепи, соединяющей его с остальной частью схемы.

I. ДЕКОМПИЛЯЦИЯ ТРАНЗИСТОРНЫХ СХЕМ

Декомпиляция плоского описания транзисторной схемы состоит из следующих этапов: 1) анализ исходного SPICE-описания, в процессе которого находятся передаточные логических элементы (pass gates) и строится графовое представление транзисторной схемы; 2) разбиение полученного помеченного графа на связные подграфы, которым соответствуют подсхемы из связанных по току транзисторов; 3) распознавание подсхем, реализующих КМОП вентили; 4) генерация двухуровневого SPICE-описания транзисторной схемы, второй уровень которого пред-

ставляют подсхемы из связанных по току транзисторов: логические и псевдо элементы; 5) выделение в двухуровневом SPICE-описании компонент, реализующих логические сети; 6) генерация трехуровневого SPICE-описания транзисторной схемы, в котором третий уровень представляют найденные логические компоненты.

II. ГРАФОВЫЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ ДЕКОМПИЛЯЦИИ

Транзисторная схема в формате SPICE представляется помеченным неориентированным двудольным графом $G = (V_1, V_2, E)$, $V_1 \cap V_2 = \emptyset$. Вершины из V_1 соответствуют входам и выходам схемы, выводам транзисторов. Вершины из V_2 соответствуют цепям. Каждое ребро $e \in E$ связывает вершины из разных множеств V_1 и V_2 .

Логическая сеть дискретного устройства отражает его внутреннее строение с точностью до функций, реализуемых его элементами. В графовой интерпретации сети соответствует помеченный ориентированный граф $H = (W, A)$, где множество W разбито на три подмножества вершин, соответствующих входам, выходам сети и элементам. Каждая вершина из первых двух подмножеств помечена входным или выходным полюсом сети. Вершины из третьего подмножества помечены функциями, реализуемыми элементами сети.

Ориентированный граф $H = (W, A)$ логической сети строится, исходя из неориентированного графа $G = (V_1, V_2, E)$, описывающего двухуровневую транзисторную схему, путем извлечения из него связного подграфа, включающего только те вершины из V_1 , которые соответствуют логическим элементам. Так как помимо таких вершин в множестве V_1 могут быть и другие вершины, то извлекаемая логическая сеть в общем случае может описываться несколькими логическими компонентами, соответствующими непересекающимся связным графам $H_i = (W_i, A_i)$.

Предлагаемый метод позволяет выделить лексикографически ранжируемую логическую сеть. От нее производится переход к логическим

уравнениям, задающим функции, реализуемые на выходных полюсах логической компоненты.

III. ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ ИЗ ДВУХУРОВНЕВОЙ ТРАНЗИСТОРНОЙ СХЕМЫ

Каждый граф, описывающий логическую компоненту $H = (W, A)$, получается из неориентированного связного подграфа $H^* = (W, E^*)$, соответствующего компоненте связности графа $G = (V_1, V_2, E) = (W, E^*)$, путем ориентации его ребер из E^* . Поиск очередной связной компоненты H^* в графе G начинается с любой нерассмотренной вершины, помеченной как логический элемент, и осуществляется в процессе обхода графа G по входящим и исходящим путям от вершин, помеченных как элементы (передаточные или КМОП вентили).

Метод поиска позволяет не только найти компоненту связности $H^* = (W, E^*)$, но и получить лексикографическое упорядочение ее вершин, учитывающее достижимость вершин друг из друга, и соответственно ранжировать граф по уровням. То есть, если вершина u непосредственно достижима из вершины v , то ребро $(u, v) \in E^*$ порождает дугу $(v, u) \in A$, и если вершина v принадлежит i -му рангу графа, то вершина u принадлежит $(i + 1)$ -у рангу.

Следующей задачей, связанной с выделением логической сети, является определение ее входных и выходных полюсов. Эта задача решается путем рассмотрения полуокрестностей исхода Γ^+v и захода Γ^-v для всех вершин v графа $H = (W, A)$. Если для некоторой вершины $v \in W$ все вершины из ее $\Gamma^+v \cup \Gamma^-v$ помечены как элементы, то вершина v является внутренней. Вершины, не являющиеся внутренними, порождают входы или выходы логической сети, в зависимости от того, какое из множеств Γ^+v или Γ^-v содержит не внутреннюю вершину.

IV. ПРИМЕР ВЫДЕЛЕНИЯ ЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ

В качестве примера рассмотрим декомпиляцию транзисторной схемы полного одноразрядного зеркального сумматора (рис. 1).

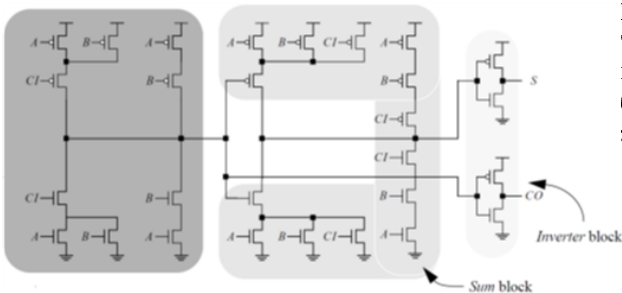


Рис. 1 – Схема зеркального сумматора

В результате декомпиляции этой транзисторной схемы обнаружено четыре группы тран-

зисторов, реализующих КМОП вентили: два вентиля из них являются инверторами, остальные реализуют функции:

$$\overline{A(B \vee C) \vee DE} \text{ и } \overline{ABC \vee G(D \vee E \vee F)}.$$

Результатом декомпиляции является следующее двухуровневое SPICE-описание транзисторной схемы сумматора:

```
*.SPICE deck for cell
adder_book_gen
.GLOBAL vdd gnd
.SUBCKT G0 A B C D E Y
* ((A AND (B OR C)) OR (D
AND E))
M1 Y A 2 gnd nff
M2 2 B gnd gnd nff
M3 2 C gnd gnd nff
M4 Y D 4 gnd nff
M5 4 E gnd gnd nff
M6 vdd B 6 vdd pff
M7 6 A Y vdd pff
M8 vdd C 6 vdd pff
M9 vdd E 7 vdd pff
M10 7 D Y vdd pff
.ENDS
.SUBCKT G1 A B C D E F G
Y
* ((A AND B AND C) OR (G
AND (D OR E OR F)))
M1 Y A 2 gnd nff
M2 2 B 3 gnd nff
M3 3 C gnd gnd nff
M4 5 D gnd gnd nff
M5 5 E gnd gnd nff
M6 5 F gnd gnd nff
M7 Y G 5 gnd nff
M8 vdd C 7 vdd pff
M9 7 G Y vdd pff
M10 vdd B 7 vdd pff
M11 vdd A 7 vdd pff
M12 vdd F 8 vdd pff
M13 8 E 9 vdd pff
M14 9 A Y vdd pff
.ENDS
.SUBCKT G2 A Y
* AY
M1 Y A gnd gnd nff
M2 vdd A Y vdd pff
.ENDS
.SUBCKT CO P0 P1 P2 O3 O4
XM0I1 P2 P0 P1 P1 P0
1 G0
XM1I1 P2 P1 P0 P2 P1
P0 1 2 G1
XM2I1 1 O3 G2
XM2I2 2 O4 G2
.ENDS
.SUBCKT adder_book_gen A
B CI CO S
XC0 A B CI CO S CO
.ENDS
```

Логическая сеть, извлеченная из двухуровневого SPICE-описания транзисторной схемы зеркального сумматора, приведена на рис. 2.

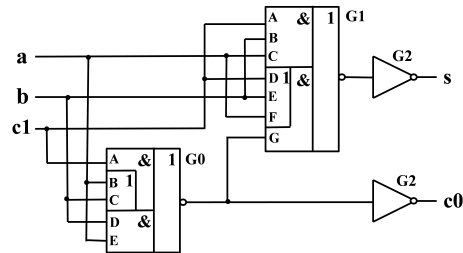


Рис. 2 – Логическая сеть сумматора

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод выделения логических компонент в двухуровневом SPICE-описании реализован в рамках программы декомпиляции, которая протестирована на ряде практических примеров и имеет достаточное быстродействие, чтобы обрабатывать схемы с более чем 500 тысячами транзисторов за несколько минут на персональной ЭВМ.

VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черемисинов, Д.И. Извлечение сети логических элементов из КМОП схемы транзисторного уровня / Д.И. Черемисинов, Л.Д. Черемисинова // Микроэлектроника. – № 3 (48). – 2019. – С. 224–234.
2. Weste, N.H.E. CMOS VLSI Design: A Circuits and Systems Perspective / N.H.E. Weste, D.M. Harris. – Boston: Pearson/Addison-Wesley, 2010. – 867 p.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УСТРОЙСТВА ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКА

Гордеюк А. В., Колосун Н. Д.

Учреждение образования «Белорусский Государственный университет информатики и радиоэлектроники» филиал «Минский радиотехнический колледж», г. Минск, Республика Беларусь

Учреждение образования «Национальный детский технопарк», г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: imprezaa@tut.by

Трёхмерное моделирование и печать 3D-моделей нашли свое применение во многих отраслях человеческой деятельности и пользуются сегодня массовым спросом. Создание 3D-моделей и изготовление прототипа готового изделия - теперь необходимый этап при запуске производства нового продукта, при подготовке презентации заказчику, при проведении функционального тестирования нового продукта.

ВВЕДЕНИЕ

Человечество живет в эпоху потребления – выпуск широкого спектра товаров только увеличивается. Это касается изделий из пластика. Дешевизна материала, технические параметры пластика обрекли его на популярность – полимеры во многих сферах вытеснили более дорогое сырье – натуральное дерево, металл. Одновременно с повсеместным распространением пластиковых изделий возник вопрос утилизации пластмассы, потерявшей практический интерес. Проблема заключается в том, что период естественного разложения пластика – от 100 до 400 лет. Как следствие, традиционное захоронение на полигонах не решает проблему.

I. СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ

Существующие способы переработки отходов ПА можно отнести к двум основным группам: механические, не связанные с химическими превращениями, и физико-химические. Механические способы включают измельчение и различные приемы и методы, использующиеся в текстильной промышленности для получения изделий с волокнистой структурой. Механической переработке могут быть подвергнуты слитки, некондиционная лента, литьевые отходы, частично вытянутые и невытянутые волокна. Измельчение является не только операцией, сопровождающей большинство технологических процессов, но и самостоятельным методом переработки отходов. Измельчение позволяет получить порошкообразные материалы и крошку для литья под давлением из слитков, ленты, щетины. Характерно, что при измельчении физико-химические свойства исходного сырья практически не изменяются. Для получения порошкообразных продуктов применяют, в частности, процессы криогенного измельчения. Отходы волокон и щетины используют для производства рыболовной лесы, мочалок, сумочек и др., однако при этом требуются значительные затраты ручного труда. Из механических методов переработки отходов наиболее перспективными, получившими широкое распространение следует считать

производство нетканых материалов, наполных покрытий и штапельных тканей. Особую ценность для этих целей представляют отходы полиамидных волокон, которые легко перерабатываются и окрашиваются. Физико-химические методы переработки отходов ПА могут быть классифицированы следующим образом:

- деполимеризация отходов с целью получения мономеров, пригодных для производства волокна и олигомеров с последующим их использованием в производстве клеев, лаков и других продуктов;
- повторное плавление отходов для получения гранулята, агломерата и изделий экструзией и литьем под давлением;
- переосаждение из растворов с получением порошков для нанесения покрытий;
- получение композиционных материалов;
- химическая модификация для производства материалов с новыми свойствами (получение лаков, клеев и т.д.).

Деполимеризация широко применяется в промышленности для получения высококачественных мономеров из незагрязненных технологических отходов.

II. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Разработанный технологический процесс (рис. 1) вторичной переработки отходов полимерных материалов по непрерывной технологии осуществляется следующим образом: отходы с содержанием посторонних примесей не более 5 процентов поступают на узел сортировки отходов 1, в процессе которой из них удаляют случайные инородные включения и выбраковывают сильно загрязненные куски. Отходы полимеров 3 непрерывно загружаются через загрузочный бункер, с левой стороны валцов, на поверхности валков 2.

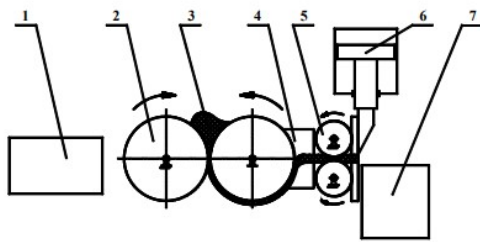


Рис. 1 – Схема технологического процесса вторичной переработки

На вальцах происходит плавление отходов, удаление летучих компонентов, пластикация, возможно модифицирование различными добавками и окрашивание расплава. Для гранулирования вальцуемого материала расплав полимера продавливается через отборочно-гранулирующее устройство 4, с образованием прутков (стренгов) заданного поперечного сечения. Полученные стренги сохраняют свой размер за счет установки тянущего устройства 5, далее они режутся ножом 6, после чего полученные гранулы собираются в емкости 7. По данной технологии могут перерабатываться не только технологические отходы производства термопластов, но и пленочные отходы производственного и общественного потребления.

III. РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ

Существует несколько методов переработки полимеров и изделий, вышедших из употребления. Предложенная 3D-модель устройства вторичной переработки пластика относится к механическому методу. Компоненты модели разрабатывались в системе автоматизации проектных работ Fusion 360. В соответствии с концепцией создания универсальных сред конструирования фирма Autodesk включила в систему Fusion 360 модуль САМ. Таким образом, круг задач, решаемых этой системой, стал охватывать практически весь жизненный цикл разработки технического объекта – от дизайнерской и конструктивной проработки до визуализации, инженерного анализа и воплощения в материале. Стоит отметить, что при этом процессе пластик не теряет своих свойств. Особенность метода в том, что нет необходимости приобретать дорогостоящее оборудование и нанимать специалистов для него. Для современных линий, задействованных в механической переработке, подходит

следующее утилизированное сырье: пластиковые бутылки, заводские упаковки, полиэтиленовые пакеты, любые другие изделия из пластмассы. На выходе получается несколько видов продукции: гранулы ПВХ разной фракции, флекс, хим-волокно, топливо.

На рисунке 2 представлена разработанная 3D-модель устройства вторичной переработки пластика.



Рис. 2 – 3D-модель устройства вторичной переработки пластика

Основные элементы модели устройства:

- Заглушка с отверстием под пластик;
- Переходник с устройства на сгон;
- Сгон сантехнический;
- Кольцевой тэн;
- Шкив двигателя;
- Двигатель;
- Винтовой держатель;
- Шнек с резьбой;
- Ремень.

IV. ПРИНЦИП РАБОТЫ

На начальном этапе измельчается пластик. Затем размещается экструдер на краю поверхности. Далее разогревается экструдер до температуры плавления пластика, происходит включение двигателя и загружается измельченный пластик. Когда пластик начинает выдавливаться из сопла экструдера, происходит его протягивание до длины примерно 20 см, а далее пластик под собственным весом равномерно выдавливается и скручивается на катушку.

V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аббасов, И. Б. Двухмерное и трёхмерное моделирование в 3ds Max / И. Б. Аббасов. – М. : ДМК, 2012 – 176 с.
2. Клайн, Л. Fusion 360. 3D-моделирование для мейкеров : пер. с англ. / Клайн Лидия Слоун. – Спб., 2021. – 288 с. : ил.

ПОДАВЛЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ПОДВЕСА КРАНА НАСТРОЙКОЙ РЕГУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГРУЗОВОЙ ТЕЛЕЖКИ

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

Кафедра систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

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

Решается задача управления краном с целью подавления колебаний подвеса с грузом при перемещении электропривода грузовой тележки в горизонтальном направлении. Предлагается усиление демпфирования колебаний перенастройкой регулятора электропривода грузовой тележки.

ВВЕДЕНИЕ

В простейшем варианте движение груза и тележки описывается линейной двухмассовой моделью третьего порядка с переменными пространства состояний: скоростью тележки, скоростью груза и отклонением координаты груза от точки подвеса грузовой тележки [1]. Управление движением осуществляется через электропривод грузовой тележки, имеющий высокие динамические характеристики и полосу пропускания во много раз превышающую частоту собственных колебаний подвеса груза. Ветровые возмущения приложены к грузу в виде дополнительного ускорения.

Возможно осуществлять управление в разомкнутом контуре по модели без датчиков обратной связи. При этом схема управления самая простая, но терминальное управление весьма условное.

Объект управляется через шейпинг-фильтр. Шейпинг-фильтр включает в себя контур управления моделью объекта модальным регулятором. Сигнал ошибки контура управления моделью используется как управляющий сигнал для объекта. Внешние возмущения не компенсируются шейпинг-фильтром. Параметрические возмущения длины подвеса груза значительно ухудшают точность управления в разомкнутом контуре через шейпинг-фильтр

I. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ С ЗАМКНУТЫМ КОНТУРОМ

Кардинальное решение задачи демпфирования колебаний подвеса и компенсации возмущений возможны в замкнутом контуре управления с дополнительными датчиками: скорости груза или отклонения груза. Сигналы, эквивалентные дополнительным датчикам, могут быть сформированы наблюдателем, привязанным к установленному на электроприводе датчику скорости тележки.

В двухмассовой схеме грузовой тележки и груза трос подвеса играет роль упругой связи. Колебания двух масс происходят в противофа-

зе и при определённых условиях, в принципе, может происходить эффективное демпфирование колебаний. Например, упругость натяжителя тросов, связывающих грузую тележку с её электроприводом, а также упругость самих тросов увеличивает податливость грузовой тележки на возмущения от раскачивания груза.

Это приводит к дополнительному рассеиванию механической энергии и демпфированию колебаний. Но увеличение податливости грузовой тележки целесообразно реализовывать не механическими средствами, а настройкой регуляторов электропривода грузовой тележки, в частности регулятора контура скорости.

II. ПЕРЕРАСЧЁТ РЕГУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КРАНЕ

Канал передачи возмущений от раскачивания груза на выход электропривода грузовой тележки может регулироваться изменением частоты среза контура скорости электропривода. При обычной настройке регуляторов частота среза контура скорости около 1000 1/с и коэффициент передачи возмущения маленький. При этом электропривод удерживает грузую тележку от раскачивания и тем самым препятствует взаимному гашению колебаний в двухмассовой механической системе с упругой связью, какой является модель крана.

Уменьшением частоты среза контура скорости электропривода и его способности удерживать грузую тележку от колебаний можно достичь желаемого демпфирования колебаний подвеса с грузом. Так как регулятор скорости перенастраивается в сторону уменьшения полосы пропускания, перенастройки контура тока не требуется.

Если пренебречь динамикой электропривода, то для желаемого коэффициента демпфирования равного 0.75 желаемая частота среза контура скорости электропривода (w_{cg}) выражается достаточно просто

$$w_{cg} = (m_{gr}/m_{tel})/1.5 * (g/L)^{0.5} \quad (1)$$

где m_{gr} – масса груза;

m_{gr} - масса грузовой тележки и приведённой к ней инерционностью электропривода;

g - ускорение силы тяжести;

L – длина подвеса груза.

Численное значение выражения $(m_{gr}/m_{tel})/1.5$ определяет коэффициент превышения частоты среза электропривода частоты собственных колебаний подвеса груза.

Чтобы динамика электропривода не становилась доминирующей, значение этого коэффициента следует ограничить снизу хотя бы единицей. Т.е. при малом весе груза или пустом крюке не следует уменьшать частоту среза контура скорости электропривода ниже частоты собственных колебаний подвеса груза.

Было выполнено моделирование процессов в кране с перенастроенными регуляторами по управлению и возмущению.

Параметры крана, его нагрузка и настройки: длина подвеса массы на блоке $L = 2$ м, отношение массы груза к массе грузовой тележки равно 10, частота среза электропривода грузовой тележки - 500 1/с. Выполнено моделирование процессов при несоответствии настроек и параметров регуляторов в несколько раз в обе стороны.

Графики процессов при отклонении настройки регулятора скорости привода в 3 раза приведены на рис.1.

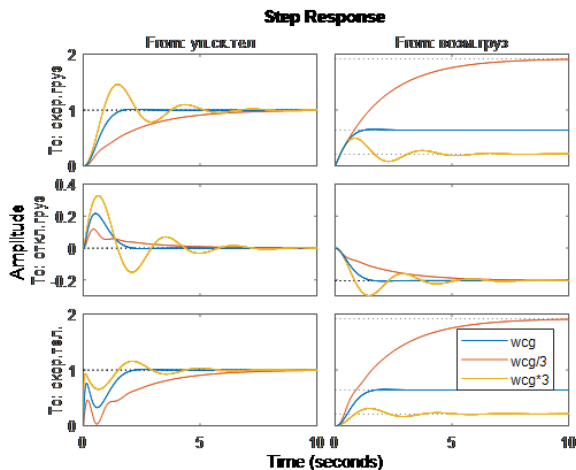


Рис. 1 – Графики процессов

Как видно из рисунков, при правильной настройке регулятора скорости длительность процессов по управлению и возмущению меньше 2 с.

При отклонении настройки регулятора в 3 раза длительность процессов увеличивается до 5 с с приемлемой формой переходной характеристики. Отдельно моделировались процессы в кране при малом весе нагрузки.

Графики процессов при равенстве масс груза и грузовой тележки приведены на рис.2.

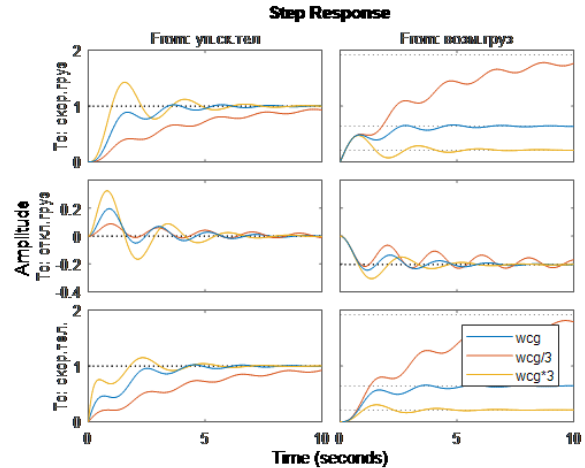


Рис. 2 – Графики процессов

Как видно из рисунков, при заниженной нагрузке крана демпфирование колебаний подвеса груза происходит за несколько большее время 5 – 10 с. Отклонение настройки регулятора в 3 раза не оказывает существенного влияния на процессы.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При нормальной нагрузке крана перенастройка регулятора контура скорости обеспечивает превосходное демпфирование колебаний подвеса груза как по управлению, так и по возмущению от ветровых нагрузок.

Перенастройка регулятора контура скорости превосходит другие способы достижения демпфирования колебаний груза по простоте.

При заниженной нагрузке крана перенастройка регулятора контура скорости обеспечивает в какой то степени приемлемое демпфирование колебаний подвеса груза как по управлению, так и по возмущению от ветровых нагрузок.

1. Хаджинов, М. К. Система управления подъёмным краном на базе квазимодального регулятора с функцией подавления колебаний перемещаемого груза / М. К. Хаджинов, А. С. Шмарловский // Доклады БГУИР. – 2009. – № 7. – С. 38–43.

ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ

Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Карпук П. О., Оробей И. О.

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
E-mail: hryniukda@gmail.com

Для оценки влияния нелинейных свойств электрических приводов исполнительных механизмов проведено имитационное моделирование при различных параметрах объекта и нелинейных свойствах привода. Скорость перемещения исполнительного механизма была фиксированной, в то время как динамика объекта управления второго порядка менялась таким образом, чтобы он был либо быстрее, либо медленнее исполнительного механизма. Кроме этого, варьировалось соотношение между постоянными времени объекта управления. Поскольку объект имеет нелинейные характеристики, то идентификация выполнялась при нескольких вариантах сигнала задания.

ВВЕДЕНИЕ

Результаты наблюдений за работой производственного процесса часто показывают, что изменение свойств регулирующих клапанов является самой частой причиной плохого функционирования контура управления и дестабилизации технологического процесса [1–2]. Одной из проблем, на которую могут повлиять нелинейные свойства исполнительного механизма, является идентификация динамических характеристик каналов управления.

I. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является оценка влияния типовых нелинейных параметров электрических исполнительных механизмов на процесс идентификации.

Для решения задачи была создана математическая модель объекта второго порядка (рис. 1) с наиболее существенной нелинейной характеристикой электрического привода клапана – трехпозиционного релейного элемента управления включением двигателя (рис. 2). Структура на рис. 1 не учитывает динамическую характеристику и особенности работы схемы управления двигателями, а также динамику механической передачи между валом двигателя и непосредственно положением штока S .

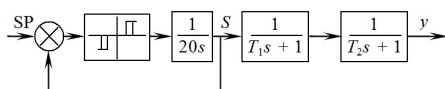


Рис. 1 – Структура объекта

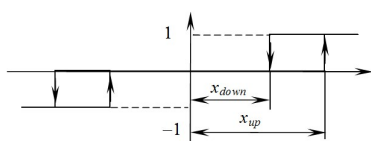


Рис. 2 – Статическая характеристика трехпозиционного элемента управления клапаном

При исследовании менялись следующие характеристики:

$$- T_1 = [1 \ 2 \ 4 \ 6 \ 10 \ 18 \ 54 \ 162 \ 486];$$

$$- k_T = T_2 / T_1 [1 \ 1,3 \ 3 \ 10];$$

$$- SP = [0,33 \ 1 \ 3 \ 10];$$

$- k_x = x_{down} / x_{down0} [1,3 \ 1 \ 0,5 \ 0,1]$, где $x_{down0} = 0,015$. Трехпозиционный элемент обладал симметричной характеристикой. Значение x_{up} имело при моделировании фиксированное значение 0,02, однако изменение значения SP позволяло проследить влияние данного параметра на процесс идентификации.

При идентификации использовался метод аппроксимации при минимизации среднеквадратичного отклонения путем вариации постоянными времени в шаблонах заданных передаточных функций:

$$\frac{k}{(T_1 0s + 1)(T_2 0s + 1)}, \quad (1)$$

$$\frac{k}{(T_1 0s + 1)(T_2 0s + 1)(20 s + 1)}, \quad (2)$$

В последней формуле фиксированное значение 20 появилось для учета динамики исполнительного устройства.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ

Графики на рис. 3–6 демонстрируют основные области различия между разгонной характеристикой и результатом аппроксимации. Нелинейные свойства электрического исполнительного механизма больше всего проявляются, когда динамика объекта более быстрая, чем непосредственно самого механизма. Влияние нелинейных свойств на коэффициент усиления сказывается меньше всего

Разность между исходным коэффициентом усиления и полученным имеет небольшое отличие и обусловлена влиянием численных методов и параметров нелинейности. Влияние соотношения между постоянными времени объекта T_1 и T_2

на качество аппроксимации минимально. Различия между исходными и аппроксимированными параметрами больше всего наблюдаются, когда динамика объекта меньше постоянной времени исполнительного механизма.

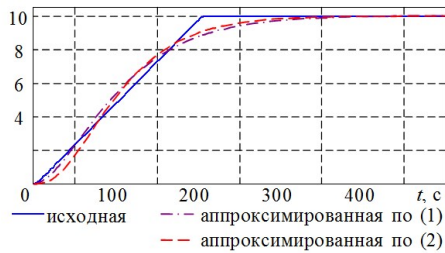


Рис. 3 – Разгонные характеристики и результат аппроксимации при $SP = 10$, $T_1 = 1$, $k_T = 3$ и $k_x = 1$

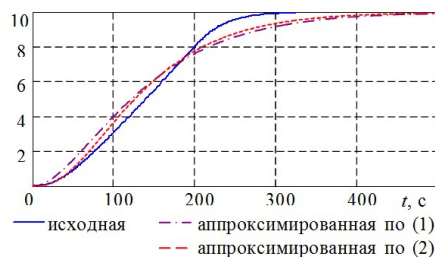


Рис. 4 – Разгонные характеристики и результат аппроксимации при $SP = 10$, $T_1 = 10$, $k_T = 3$ и $k_x = 1$

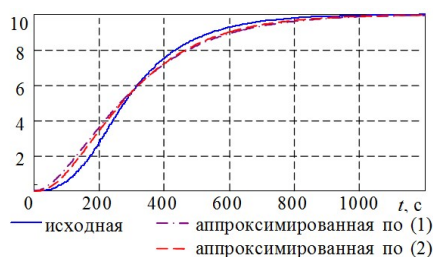


Рис. 5 – Разгонные характеристики и результат аппроксимации при $SP = 10$, $T_1 = 54$, $k_T = 3$ и $k_x = 1$

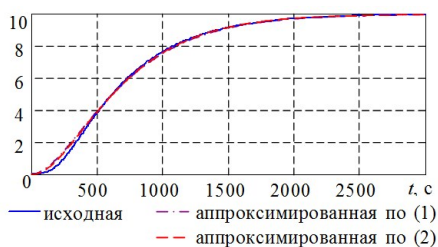


Рис. 6 – Разгонные характеристики и результат аппроксимации при $SP = 10$, $T_1 = 162$, $k_T = 3$ и $k_x = 1$

При изменении параметров трехпозиционного звена наблюдаются похожие тенденции. Однако ошибка аппроксимации при использовании шаблона (2) гораздо меньше, чем для шаблона (1). Кроме этого, незначительные изменения параметров нелинейности оказывают более существенное влияние на результат аппроксимации,

чем изменение коэффициента k_T . Величина сигнала задания приводит к большей разнице между динамическими параметрами исходной системы и полученным результатом. При сигнале задания увеличенном в 10 раз, только при максимальном значении постоянной времени эксперимента получено значение этих параметров близких к исходным.

Основная ошибка при аппроксимации накапливается на начальном и конечном участках кривой разгона. При соотношении между постоянными времени объекта и исполнительного механизма больше чем на порядок, основным источником ошибок является начальный участок кривой разгона. Тогда как при обратном соотношении хуже аппроксимируется конечный участок. Он же и дает основной вклад в ошибку аппроксимации.

Повышение порядка аппроксимации не всегда демонстрирует повышение качества аппроксимации. Применение шаблона (2) демонстрирует явное преимущество только при сравнимости динамики объекта и исполнительного механизма. При более быстром и медленном объекте управления у шаблона (1) наблюдается преимущество.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выбор шаблона аппроксимации для объектов управления, которые используют электрические приводы управления (механизмы постоянной времени) определяющим фактором является соотношение между динамикой исполнительного механизма и динамикой объекта. 2. В случае эксплуатации объекта в широком диапазоне управляющих воздействии, будет проявляться различная динамика объекта при близких постоянных времени объекта и исполнительного механизма, что требует всестороннего исследования объекта управления. 3. Из-за нелинейных свойств исполнительного механизма, введение звена запаздывания может повысить качество аппроксимации.

1. EnTech Control Valve Dynamic Specification (Version 3.0 11/98) [Electronic resource] / – Mode of access: <https://www.emerson.com/documents/automation/manuals-guides-control-valve-dynamic-specification-pss-en-67756.pdf> – Date of access: 14.09.2022.
2. Control Valve Dynamic Performance Specification Published on Friday 02-10-2020 [Electronic resource] / – Mode of access: <https://www.industrialautomationindia.in/articleitm/10687/Control-Valve-Dynamic-Performance-Specification/articles>. – Date of access: 14.09.2022.
3. Олифинович, Н. М. Гармоническая идентификация технологических объектов в реальном времени / Н. М. Олифинович, Д. А. Гринюк, И. О. Оробей // Труды БГТУ. –2016. –Сер. 3, № 6(188), –С. 117–121.
4. Olinerovich N. The use of harmonic identification algorithms to air heat exchanger / N.Oliferovich, D. Hryniuk, I. Orobei.// Electrical Electronic and Information Sciences (eStream): Open Conference, – 2017, p. 1–5.
5. Гринюк Д. А. Моделирование и настройка систем с нелинейной динамикой /Гринюк Д. А. [и др.]. // Труды БГТУ. –2021, № 2(248). –С. 65–71.

ДИНАМИКА КАНАЛА РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Михновец А. С.

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
E-mail: hryniukda@gmail.com

Нелинейные свойства теплообменников обуславливают необходимость проведения ряда экспериментов. Анализ разгонных характеристик проводился численными методами для разных шаблонов путем минимизации отклонения между экспериментальными данными и линейной моделью. Для определения выходных параметров объекта управления были использованы три первичных преобразователя: два датчика температуры и один датчик влажности. Сравнение передаточных функций для двух датчиков температуры не позволяет по экспериментальным данным отделить динамику самого датчика от динамики объекта управления.

ВВЕДЕНИЕ

Определение динамики каналов регулирования обычно происходит на основании теоретического анализа или (и) по экспериментальным данным. Результаты активной идентификации позволяют получить лучшую точность [1-2]. Каналы управления технологическими процессами, как правило, обладают определенным уровнем нелинейности, что исключает точную линейную идентификацию. Большинство таких систем характеризуются определенной степенью нестационарности. По этой причине в процессе идентификации порядок передаточных функций обычно ограничивают.

I. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Стенд испытаний: воздушный теплообменник с нерегулируемый электрическим нагревателем, два датчика температуры (с металлической и пластиковой (ФТК+) монтажными частями) и один влажности. В качестве управляющего воздействия использовалось изменение расхода через управление частотой двигателя вентилятора. Перед началом проведения активного эксперимента включался стенд и температурный режим выводился на одно и то же стационарное значение. После прогрева и окончания переходных процессов проводилось отклонение в одну сторону и его возврат в другую. Результаты сохранялись для последующей обработки. Обработка проводилась путем поиска коэффициентов передаточной функции, которые при минимизируют среднеквадратическое отклонение (СКО) между исходной и шаблонной функциями. Анализ литературы позволил выделить наиболее часто встречающиеся шаблоны передаточных функций для теплообменников

$$\frac{k}{T_1s + 1} \exp(-\tau s), \quad (1)$$

$$\frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)^n}, \quad (2)$$

$$\frac{k \exp(-\tau s)}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}, \quad (3)$$

$$\frac{k(1 - b \exp(-\tau s))}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}, \quad (4)$$

$$\frac{k \exp(-\tau s)}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)^n}, \quad (5)$$

Формулу (1) часто используют для прикладного использования. Формулу (2) применяют при $n = 1$ или $n = 2$, когда влияние распределенности незначительно. В случае присутствия существенных градиентов температуры рационально будет использовать формулы (3)–(5).

II. РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1, 2 приведены примеры кривых разгона, которые подвергались аппроксимации при одном и том же диапазоне изменения частоты, но разном направлении. Предварительно кривые были нормированы путем деления на диапазон изменения.

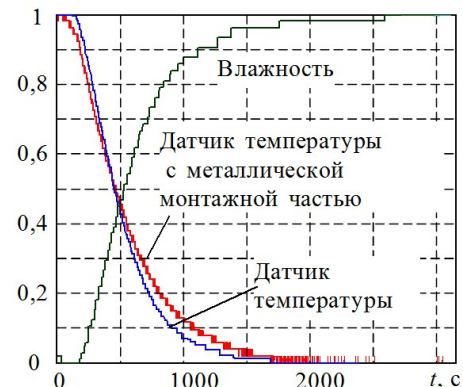


Рис. 1 – Кривая разгона при увеличении скорости

Канал управления имеет отрицательный коэффициент управления по температуре и положительный по влажности, т. е. при увеличении частоты оборотов температура падает вследствие увеличения количества проходящего

воздуха через нагреватели с постоянной мощностью, постоянство же влагосодержания при уменьшении температуры приводит к повышению влажности.

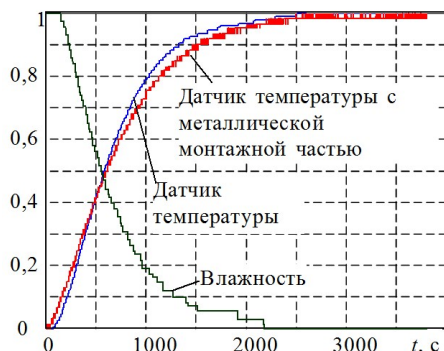


Рис. 2 – Кривая разгона при уменьшении скорости

Качество аппроксимации различными шаблонами (1)-(5) кривых разгона для варианта на рис. 2. приведены рис. 3-4.

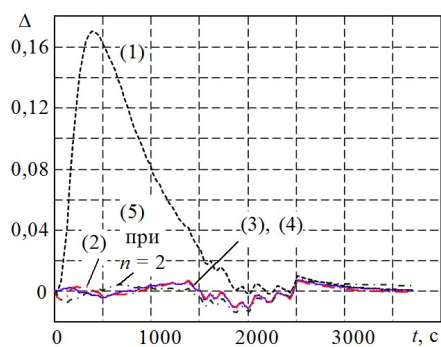


Рис. 3 – Кривая разгона при увеличении скорости

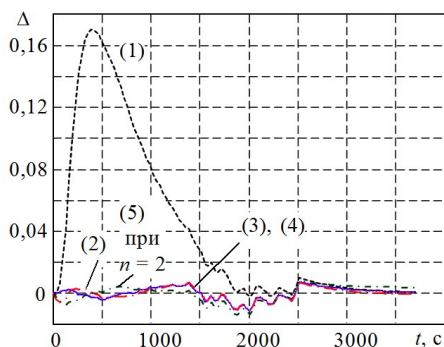


Рис. 4 – Кривая разгона при уменьшении скорости

Для выбора подхода к настройке системы управления объектами с нелинейной динамикой следует производить оценку возможных изменений параметров. Минимальная ошибка аппроксимации соответствует шаблону, который представляет собой апериодическое звено второго порядка с запаздыванием и соответствует формуле (3). Изменение параметров n в шаблоне (5), в отличие от объекта исследования [5, 6], ухудшает качество. Однако интегральная ошибка имеет некоторую зависимость от этого показателя. Худшие характеристики наблюдались при значениях $n = 2$ и $n = 3$. Шаблон (1), самый по-

пулярный вариант в литературе, давал худшее качество аппроксимации. Анализ графиков на рис.3-4 показывает, что, кроме эффекта квантования (рис.1, 2), основным источником накопления ошибки является начальный участок кривой разгона. Данное наблюдение может служить грубым критерием выбора шаблона аппроксимации. Качество аппроксимации шаблонами зависит от направления изменения управляющего воздействия. В процессе охлаждения наблюдаются большие отклонения, чем в процессе нагревания. Несмотря на то, что разгонные характеристики снимались для одного объекта одновременно, отделить динамическую составляющую объекта управления от динамики датчика по результатам эксперимента невозможно. Несмотря на близость разгонных кривых, динамические характеристики различны. Для датчика температуры с металлической монтажной частью постоянные времени меньше, но запаздывание больше. При увеличении частоты отношение минимальной и максимальной постоянных времени выбранной модели имеют большую величину, чем при уменьшении. Особенно это характерно для датчика ГТК+. Однако зависимость носит нелинейный характер, что обусловлено, скорее всего, невозможностью обеспечить идентичность проведения экспериментов. Проведение экспериментов с одинаковым управляющим воздействием показало вариацию более чем на пять процентов коэффициентов передаточных функций для всех шаблонов при сохранении отношения динамических параметров.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рациональность выбора шаблона аппроксимации зависит от множества факторов. Несимметричность динамики процессов теплообмена усложняет процесс идентификации и требует компромиссов между точностью и сложностью. Повышение порядка передаточной функции при аппроксимации не всегда способствует повышению качества.

1. Hangos, K. M. Process modelling and model analysis / K. M. Hangos, I. T. Cameron. – San Diego: Academic Press. 2001. –543 p.
2. Dorfman K. D. Numerical Methods with Chemical Engineering Applications / K. D. Dorfman, D. Prodromos / Cambridge University Press, 2017. – 511 p.
3. Олифинович, Н. М. Гармоническая идентификация технологических объектов в реальном времени / Н. М. Олифинович, Д. А. Гринюк, И. О. Оробей // Труды БГТУ. –2016. –Сер. 3, № 6(188), –С. 117–121.
4. Oliferovich N. The use of harmonic identification algorithms to air heat exchanger / N.Oliferovich, D. Hryniuk, I. Orobei.// Electrical Electronic and Information Sciences (eStream): Open Conference, – 2017, p. 1–5.
5. Marozava M., Experimental study of the variation dynamic's for air heat exchanger /M. Marozava, D. Hryniuk // Science – Future of Lithuania. – 2017. – Vol. 9, №.3. –p. 297–301.

ПРОИЗВОДЯЩАЯ ФУНКЦИЯ ДЛЯ ВЕРОЯТНОСТИ ПРОПУСКА ОШИБКИ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ДВУХ ВЕКТОРОВ ПЕРЕХОДОВ

Кобяк И.П.

Кафедра электронных вычислительных машин, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: ipkobyak2012@mail.ru

В данной работе на основе известных математических методов получены соотношения, позволяющие вычислить вероятность пропуска ошибки при наблюдении векторов переходов в выборке событий с шумоподобной природой. Рассмотрено соотношение для моды и производящая функция для двух переменных (функций), характеризующих значение вероятности ошибки практически со стопроцентной точностью. Приведен расчет вероятности ошибки для бесконечной выборки.

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдение и регистрация векторов переходов (ВП) заданного вида является достаточно новым алгоритмом синтеза контрольных кодов для идентификации сообщений со случайной природой. Достоинством принципа наблюдения ВП или субдинамических объектов является низкая вероятность пропуска ошибки сформированной оценкой при проверке достоверности принятой криптограммы. При этом время поиска ошибок в сообщении абонента-передатчика существенно экономится в случае появления сбоев в системе связи.

Представленная производящая функция в виде факториальных моментов специального вида позволяет развивать тематику исследований параметров точечных оценок, интересующую пользователей ряда практических задач. В частности, особый интерес вызывает принцип вычисления нормированной площади под кривой графика распределения вероятностей ошибки для различных длин выборки n и сравнения полученных значений с параметрами классических алгоритмов оценивания. Это позволяет выбрать в целях идентификации наиболее эффективный метод при передаче сообщений, а так же эффективно наблюдать частоту появления ВП в бесконечных последовательностях.

1. ПРОИЗВОДЯЩАЯ ФУНКЦИЯ ДЛЯ ВЕРОЯТНОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ ВП

Представление случайной последовательности с элементами детерминизма в виде набора двумерных объектов числом $k_{j,i}$, где j -это количество последовательных ВП, а i -число векторов в функции правдоподобия, позволяет на основе алгоритма включения и исключения записать соотношение для моды с учетом [1] в виде:

$$m_0 = \frac{1}{m^n} \left[m^n \sum_{s=0}^{[0,5n]} C_{n-s}^s (-p)^s \right] \quad (1)$$

$$= \frac{1}{2^{n+1}} \beta_n,$$

где

$$\beta_n = \frac{1}{\sqrt{1-4p}} \left((1 + \sqrt{1-4p})^{n+1} - (1 - \sqrt{1-4p})^{n+1} \right),$$

а параметр $p = \frac{3^{r-\mu}}{m^2}$ - это теоретическая вероятность регистрации ВП заданного вида в r - разрядной выборке, $m = 2^r$.

Результаты исследования данной задачи позволили заключить, что искомая производящая функция является кусочно-гладкой, что предполагает синтез общего соотношения в виде трех составляющих. Во-первых, в виде слагаемого (1), представляющего собой моду; во-вторых, в виде суммы значений гладкой части функции на множестве аргументов $j = 1, 2$ (для данной задачи) при допустимых значениях $i = 1, 2, \dots, n - 2j - 3$, что следует из минимальной длины монообъектов равной $2j + i = 3$; и, в-третьих, в виде суммы значений функции, определяемой параметрами $i = n - 2j$, в «постразрывной» области аргумента.

Основной результат данной работы может быть сформулирован на основании алгоритма включения и исключения для $j = 1, 2$ (см. результат (5) ниже).

Теорема. Энумератор вида

$$m_K = m_0 + \sum_g \left[\left(\sum_{j=1}^2 p^j + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=2}^{n-2j-3} p^j \frac{1}{2^{i+1}} \beta_i \right) - \frac{1}{2^3} \beta_2 \left(p + \sum_{i=2}^{n-7} p \frac{1}{2^{i+1}} \beta_i \right) \right]^{n-g} \quad (2)$$

$$+ \left(\sum_{j=1}^2 p^j \frac{1}{2^{n-2j+1}} \beta_{n-2j} \right) - \frac{1}{2^3} \beta_2 \left(p \frac{1}{2^{n-3}} \beta_{n-4} \right),$$

$$g = 2k_{1,1} + 3k_{1,2} + \dots + (n-4)k_{1,n-5} + 4k_{2,1} + 5k_{2,2} + \dots + (n-4)k_{2,n-7}.$$

является перечисляющей производящей функцией для вероятности наблюдения ВП заданного вида $j = 1, 2$.

Доказательство. Сформируем сложные объекты, состоящие из j векторов перехода и постобъектов длиной i . Тогда для гладкой части функции можем записать соотношение:

II. ЗНАЧЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПРОПУСКА ОШИБКИ В АСИМПТОТИКЕ

Для расчета вероятности пропуска ошибки вероятностью наблюдения ВП в асимптотике воспользуемся соотношением для расчета математического ожидания числа последовательных пар векторов в бесконечной выборке:

$$j_{mo} = \sum_{j=1}^{0,5n} j p^j \left(\sum_{j=1}^{0,5n} p^j \right)^{-1} = \frac{1}{1-p}. \quad (5)$$

При этом максимальное значение вероятность наблюдения ВП характеризуют параметры $r = 2$, $\mu = 1$, откуда следует:

$$p_{\max} = \frac{3^{r-\mu}}{m^2} = \frac{3}{16}$$

При данном p_{\max} из (5) имеет результат $j_{mo} = \frac{16}{13}$. Очевидно, что данный параметр может быть преобразован к виду $j_{mo} = 1 + \frac{3}{13}$, что говорит об «удельном весе» величины $j = 1$ при регистрации всех ВП в 81,25 процентах случаев; на долю же остальных пар с $j > 1$ приходится 18,75 процентов событий. Таким образом, в асимптотике при $j = 1, 2$ имеем:

$$m_K < \left(0,8125p \frac{1}{2^{i_1+1}} \beta_{i_1} + 0,1875p^2 \frac{1}{2^{i_2+1}} \beta_{i_2} \right)^{n-g}$$

Длина постобъекта i_1 в данном соотношении может быть определена по формуле:

$$i_1 = \frac{1-2p}{p} = \frac{10}{3}$$

Для постобъекта длиной i_2 имеем:

$$i_2 = \frac{1-4p^2}{p^2} = \frac{220}{9}$$

Параметр g определится по формуле $g = 2j + i - 1$ с учетом вероятности наблюдения событий np^j . При этом получаем:

$$g = 0,8125(i_1 + 1)np + 0,1875(i_2 + 3)np^2 = 0,841n$$

Составляющие суммы в соотношении для m_K с учетом (1) будут равны:

$$\frac{1}{2^{\frac{13}{3}}} \beta_{\frac{10}{3}} = 0,57002676, \quad \frac{1}{2^{\frac{220}{9}}} \beta_{\frac{220}{9}} = 0,00132444.$$

При этом из сформированного выше соотношения имеем: $m_K \approx (0,6781594)^n$.

1. И.П.Кобяк. О точном равенстве для вероятности пропуска ошибки при наблюдении векторов переходов // В сб. науч. статей VII Международной науч.-практич. конференции «BIG DATA and Advanced Analytics», Минск, 11-12 мая 2022 г. – Минск : Бестринт, 2022. – С. 312–319.

$$\begin{aligned} m_{K1} &= \frac{1}{m^n} \sum_g \sum_{n-g} \left[(3^{r-\mu}) \deg \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{n-2j-3} j k_{j,i} \right] \times \\ &\times m \deg \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{n-2j-3} i k_{1,i} \prod_{i=2}^{n-5} \left(\frac{1}{2^{i+1}} \beta_i \right)^{k_{1,i}} \times \\ &\times \prod_{i=2}^{n-7} \left(\frac{1}{2^{i+1}} \beta_i \right)^{k_{2,i}} \left(\frac{3^{r-\mu}}{m^2} \frac{1}{2^{n-1}} \beta_{n-2} \right) \times \\ &\times \left[\left(\frac{3^{r-\mu}}{m^2} \right)^2 \frac{1}{2^{n-3}} \beta_{n-4} \right] \times \\ &\times \frac{\left[n - \sum_{i=1}^{n-5} (i+1)k_{1,i} - \sum_{i=1}^{n-7} (3+i)k_{2,i} \right]!}{\prod_{i=1}^{n-5} k_{1,i}! \prod_{i=1}^{n-7} k_{2,i}!}. \quad (3) \end{aligned}$$

Преобразование факториальных моментов в соотношении (3), дает результат:

$$\begin{aligned} m_{K1} &= \sum_g \sum_{n-g} m \deg \left(-n + g + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{n-2j-3} k_{j,i} \right) \times \\ &\times m \deg \left(- \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{n-2j-3} 2j k_{j,i} \right) \times \\ &\times (3^{r-\mu}) \deg \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{n-2j-3} j k_{j,i} \prod_{j=1}^2 \prod_{i=2}^{n-2j-3} \left(\frac{1}{2^{i+1}} \beta_i \right)^{k_{j,i}} \times \\ &\times \frac{\left[n - \sum_{i=1}^{n-5} (i+1)k_{1,i} - \sum_{i=1}^{n-7} (3+i)k_{2,i} \right]!}{\prod_{i=1}^{n-5} k_{1,i}! \prod_{i=1}^{n-7} k_{2,i}!}. \end{aligned}$$

В данном соотношении сгруппируем члены с одинаковыми показателями. При этом имеем:

$$\begin{aligned} m_{K1} &= \sum_g \sum_{n-g} m \deg \left(-n + g + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{n-2j-3} k_{j,i} \right) \times \\ &\times p \deg \sum_{j=1}^2 j k_{j,1} \prod_{j=1}^2 \prod_{i=2}^{n-2j-3} \left(p^j \frac{1}{2^{i+1}} \beta_i \right)^{k_{j,i}} \times \\ &\times \frac{\left[n - \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{n-2j-3} (2j+i-1)k_{j,i} \right]!}{\sum_{j=1}^2 \prod_{i=1}^{n-2j-3} k_{j,i}!}. \end{aligned}$$

Используя теперь методику преобразования произведения в полиномиальную функцию, можем записать:

$$m_{K1} = \sum_g \left(\sum_{j=1}^2 p^j + \sum_{j=1}^2 \sum_{i=2}^{n-2j-3} p^j \frac{1}{2^{i+1}} \beta_i \right)^{n-g}. \quad (4)$$

В соотношении (4) индекс (степень) параметра равная i указывает на длину постобъекта или число векторов в функции правдоподобия.

Однако, полученное соотношение (4) не может быть использовано для подстановки в функцию (2) в чистом виде. Данный факт обусловлен влиянием параметров суммы с $j = 2$ на полученное значение суммы для $j = 1$. Выходом из создавшейся ситуации является применение алгоритма суммирования, соответствующего методу включения и исключения для двух переменных (или функций) как показано в (2). Теорема доказана.

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ ДИСКРЕТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Кузнецов А. П., Городко С. И., Снисаренко С. В.

Кафедра систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: kafsu@bsuir.by

Рассматриваются сложные дискретные динамические системы, описываемые нелинейными, нестационарными разностными уравнениями. Разработаны методы анализа устойчивости в таких системах.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных показателей работоспособности систем автоматического управления (САУ) является их устойчивость. Анализ устойчивости непрерывных нелинейных САУ можно проводить частотными методами или прямым методом Ляпунова [1]. Однако часто приходится исследовать устойчивость более сложных систем с учетом их дискретных, нестационарных и нелинейных характеристик. Наряду с этим параметрами САУ могут быть неопределенными, заданными в какой-то области [2]. При наличии комплекса таких характеристик и параметров будем называть САУ сложными динамическими системами, методы анализа которых подлежат дальнейшей разработке.

I. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим дискретную нестационарную нелинейную систему, уравнение динамики которой имеет вид:

$$X(n+1) = A[n, X(n)]X(n) \quad (1)$$

где $X(n) = \text{col}[x_1(n), \dots, x_m(n)]$ - вектор состояния системы размерности m ; $n = 0, 1, 2, \dots$ (вместо n часто записывается дискретное время t_n).

В данной работе для анализа сложных динамических систем применяются нормы решения для уравнения (1), описанные в [3].

Пусть при $n = l$ начальное значение вектора состояния будет $X(l)$. Требуется найти области возможных состояний $H \in R^m$ вектора $X(n)$ при $\forall n \in N_1$, $N_1 = [l, \omega)$, где ω - конечное число или символ ∞ .

Тогда, если на интервале N_1 существует минимальный $\mu_{m_{in}(n)} = \min_x \mu[n, X(n)]$ и максимальный $\mu_{m_{ax}(n)} = \max_x \mu[n, X(n)]$ корни уравнения

$$\det\{A^*[n, X(n)]G(n+1)A[n, X(n)] - \mu G(n)\} = 0; \quad (2)$$

то область H ограничена неравенством

$$\sqrt{\frac{G[X(n), l]}{(\lambda_{m_{ax}(n)})} \prod_{i=l}^{n-1} \mu_{m_{in}(i)}} \leq$$

$$\leq \|X(n)\| \leq \sqrt{\frac{G[X(n), l]}{\lambda_{m_{in}(n)}} \prod_{i=l}^{n-1} \mu_{m_{ax}(i)}}, \quad (3)$$

где $\|X(n)\| = X^*(n)X(n)$ евклидова норма вектора; $G[X(n), n] = X^*(n)G(n)X(n)$ - произвольная, положительно определенная эрмитова форма с матрицей $G(n) = \|q_{ij}(n)\| = \|q_{ji}(n)\|$; $\lambda_{m_{in}(n)}$, $\lambda_{m_{ax}(n)}$ - соответственно наименьший и наибольший корни уравнения

$$\det[G(n) - \lambda E] = 0;$$

E - единичная матрица, а символ $*$ над матрицей или вектором означает эрмитову сопряженную матрицу или вектор.

Произведено доказательство оценки переходных процессов (3), а также доказаны с их использованием достаточные критерии устойчивости в целом, большом сложных динамических дискретных систем, а также их абсолютная устойчивость.

Так, например, достаточным условием асимптотической устойчивости в целом процесса $X(n)$, начиная с некоторого $n \geq l$ (n и l - целые числа) является выполнение неравенства $\mu_{max}(n) < 1$, где $\mu_{max}(n)$ - максимальный корень уравнения (2).

II. ПРИМЕРЫ

Пусть система описывается уравнением второго порядка:

$$x(n+2) + b_1[n, x(n), x(n+1)]$$

$$x(n+1) + b_2[n, x(n)]x(n) = 0$$

Сделав замену переменных $z_1(n) = x(n)$; $z_2(n) = x(n+1)$; $z(n) = \text{col}[z_1(n), z_2(n)]$ приведем его к матричному виду:

$$Z(n+1) = A[n, Z(n)]Z(n); \quad (4)$$

$$A[n, Z(n)] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -b_2 & b_1 \end{bmatrix}$$

Применив к уравнению (4) рассматриваемый критерий устойчивости, получим неравенство:

$$b_2 + 1 \pm b_1 > 0; b_2 - 1 \pm b_1 < 0 \quad (5)$$

Т.е. неравенство (5) можно рассматривать как достаточное условие асимптотической устойчивости в целом для систем второго порядка. К сложным динамическим системам относятся дискретные системы фазовой синхронизации (ДСФУ) [4], обобщенная структурная схема которых изображена на рисунке 1.

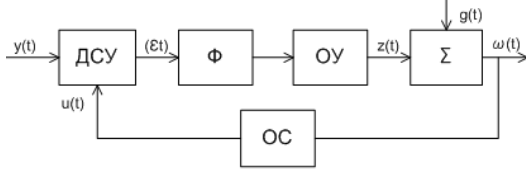


Рис. 1 – Обобщенная структурная схема ДСФУ

На рисунке 1 изображены: ДСУ - дискретное сравнивающее устройство; Φ - фильтр; ОУ - объект управления; ОС - устройство обратной связи; $y(t)$, $\epsilon(t)$, $z(t)$, $g(t)$, $\omega(t)$, $u(t)$ - входные и выходные сигналы соответствующих блоков. Уравнение динамики такой безфильтровой системы со сравнивающим устройством типа "выборка - запоминание" имеет вид:

$$K_2 \int_{t_n + \tau_n + 1}^{t_n + T_n + \tau_n + 1} [z(t) + g(t)] dt = 2\pi, \quad (6)$$

где K_2 - коэффициент передачи цепи обратной связи; $Z_n = K_1 h_n$; K_1 - коэффициент прямой цепи системы; $h_n = K_b \tau_n$ - амплитуда импульса на интервале $t \in [t_n + \tau_n, t_{n+1} + \tau_{n+1}]$; K_b - коэффициент передачи сравнивающего устройства; τ_n - временной сдвиг между входным и выходным сигналами на n -ом периоде квантования; T_n - период дискретизации. Такая система относится к сложной дискретной нелинейной системе, у которой могут меняться параметры. В ней присутствует комбинированная импульсная модуляция: АИМ-ШИМ-ЧИМ. Проведя операцию интегрирования в уравнении (6) получаем нелинейное разностное уравнение динамической системы:

$$K_1 K_b \tau_n (T_n + \tau_{n+1} - \tau_n) + (T_n + \tau_{n+1} - \tau_n) g_n = \frac{2\pi}{K_2} \quad (7)$$

Применив к уравнению (7) рассматриваемый критерий устойчивости приходим к следующему ограничению на коэффициент усиления системы:

$$K = K_1 K_b k_2 < \frac{4\pi}{3(T^*)^2} \quad (8)$$

где T^* - установившееся значение периода дискретизации.

Для данной системы был проведен анализ устойчивости по линеаризованной модели, который дал следующий результат:

$$K < \frac{4\pi}{(T^*)^2} \quad (9)$$

Из сравнения условий устойчивости (8) и (9) видно, что область устойчивости, полученная по нелинейной модели системы в три раза уже, чем область, полученная по линеаризованной модели, что подтверждено также экспериментально.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом в данной работе предложены и доказаны оценки переходных процессов в сложных нелинейных дискретных системах. На их основе разработаны достаточные условия устойчивости таких систем.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляк, Б. Т. Математическая теория систем управления. / Б. Т. Поляк, М. В. Хлебников, Л. Б. Раппопорт - М.: Ленанд, 2019. - 504 с.
2. Кузнецов, В. П. Исследование дискретных динамических систем с неопределенными параметрами / В. П. Кузнецов, Е. В. Протченко, Н. В. Хаджинова // Информационные технологии и системы 2016 (ИТС 2016) : материалы международной научной конференции (БГУИР, Минск, Беларусь, 26 октября 2016). - Information Technologies and Systems 2016 (ITS 2016): Proceeding of the International Conference (BSUIR, Minsk, Belarus, 26th October 2016) / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. - Минск: БГУИР, 2016. - С. 82-83
3. Михайлов Ф. А. Динамика нестационарных дискретных систем. / Ф. А. Михайлов, Б. Д. Теряев, В. П. Буленков - М.: Наука, 1980. - 304 с.
4. Батура, М. П. Универсальный метод проектирования систем фазовой синхронизации / М. П. Батура, А. П. Кузнецов, Л. Ю. Шилин, Д. П. Куркин // Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015): материалы международной научной конференции (БГУИР, Минск, Беларусь, 28 октября 2015). - Information Technologies and Systems 2015 (ITS 2015): Proceeding of the International Conference (BSUIR, Minsk, Belarus, 28th October 2015) / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. - Минск: БГУИР, 2015. - С. 18-19

РЕЗОНАНС В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С ЭЛЕМЕНТАМИ ВЫСШЕГО ПОРЯДКА

Петровский И. И., Свито И. Л.

Кафедра теоретических основ электротехники,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: Petrovski47@mail.ru, svito@bsuir.by

В работе рассматривается возможность применения элементов высшего порядка, предложенных как новые элементы в теории электрических цепей, для исследования резонансных явлений и использования их при построении частотно-зависимых и резонансных контуров в электротехнических устройствах.

ВВЕДЕНИЕ

Элементы высшего порядка, предлагаемые для применения в электрических цепях как новые к существующим R,L,C обозначаются



где n - порядок элемента [1-4].

I. АНАЛИЗ СХЕМЫ С ЭЛЕМЕНТОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Принципиальная схема элемента второго порядка представлена на рис. 1.

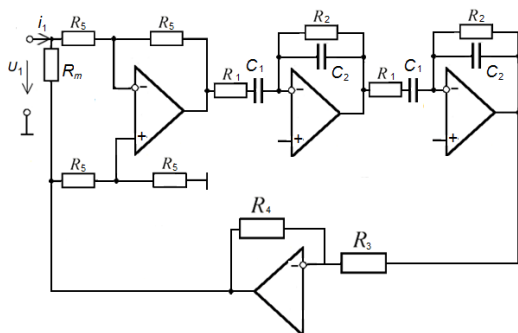


Рис. 1 – Схема элемента второго порядка

Исследуем схему, представленную на рис.2, состоящую из активного сопротивления и элемента второго порядка.

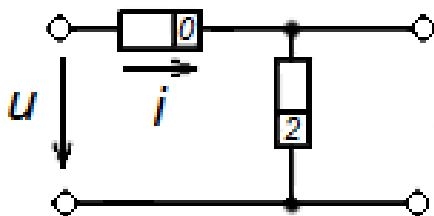


Рис. 2 – Обобщённая схема резонансного контура с элементом второго порядка

Примем, что входной сигнал синусоидален, тогда дифференциальное уравнение будет иметь вид

$$K_2 \frac{d^2 i}{dt^2} + Ri = U_m \sin \omega t.$$

Решение уравнения представляется в виде установившейся и свободной составляющих

$$i = i_y + i_c.$$

Свободная составляющая определяется из уравнения

$$K_2 \frac{d^2 i}{dt^2} + Ri = 0.$$

Корни характеристического уравнения $K_2 p^2 + R = 0$ будут $p_{1,2} = \pm j \sqrt{\frac{R}{K_2}}$, что представляет собой уравнение

$$i(t) = A \cos \sqrt{\frac{R}{K_2}} t + B \sin \sqrt{\frac{R}{K_2}} t.$$

Для определения установившегося режима примем, что

$$i_y = I_{my} \sin \omega t,$$

тогда

$$\frac{d^2 i_y}{dt^2} = -\omega^2 I_{my} \sin \omega t.$$

После подстановки данного выражения в исходное уравнение оно примет вид

$$(-K_2 \omega^2 I_{my} + R I_{my}) \sin \omega t = U_m \sin \omega t.$$

Следовательно

$$I_{my} = \frac{U_m}{R - K_2 \omega^2}$$

Тогда общее решение исходного уравнения примет вид

$$i(t) = I_m \sin \omega_0 t + \frac{U_m}{K_2 (\omega_0^2 - \omega^2)} \sin \omega t,$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{R}{K_2}}$

Второе слагаемое этого решения представляет собой частотно-зависимую часть. Её амплитуда указывает на резонансные явления в цепи, что изображено на рис. 3.

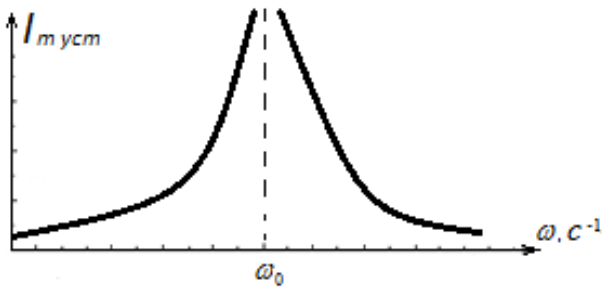


Рис. 3 – Амплитудно-частотная характеристика тока

При этом фазовая характеристика представлена на рис. 4.

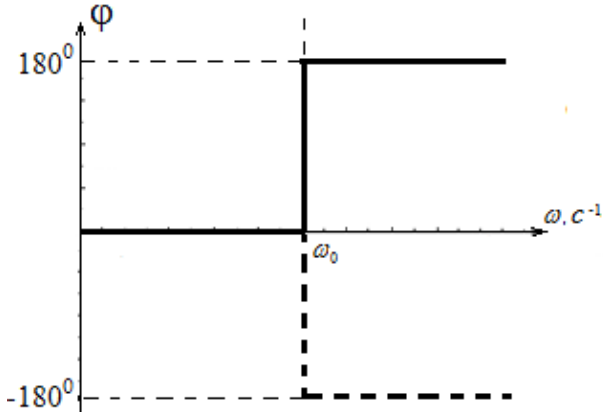


Рис. 4 – Фазочастотная характеристика

Таковую же зависимость от частоты показывает также общее сопротивление цепи (рис. 2), если сопротивление элемента второго порядка $Z_2 = -w^2 K_2$, то сопротивление цепи

$$Z = R - w^2 K_2 = K_2 (w_0^2 - w^2).$$

Если ток $I_m = \frac{U_m}{Z}$, то $I_m = \frac{U_m}{K_2(w_0^2 - w^2)}$, следовательно $U_m = -I_m w^2 K_2$.

После подстановки I_m в это выражение напряжение примет вид

$$u(t) = -\frac{w^2}{(w_0^2 - w^2)} U_m \sin \omega t,$$

Что графически изображено на рис. 5.

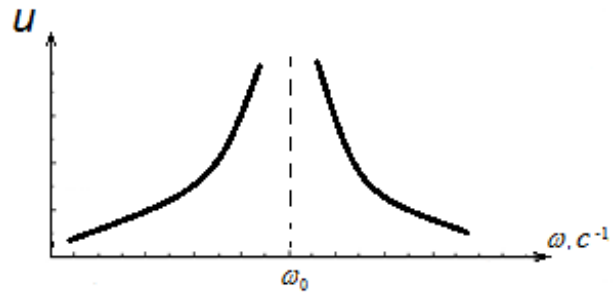


Рис. 5 – Амплитудно-частотная характеристика напряжения

II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, из приведённого можно сделать вывод, что с помощью элемента высшего порядка можно получить и исследовать явления резонанса токов и напряжений. Полученные результаты могут быть использованы при расчётах частотно-зависимых контуров в электротехнических устройствах, а также в фильтрующих системах.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Panzer, K. Ein Beitrag zum Entwurf von aktiven Bandfiltern mit der minimalen Anzahl von Kondensatoren. Dissertation, TU Munchen, 1975.
2. И.И. Петровский, И.Л. Свито. Применение элементов высшего порядка в фильтрах нижних и высших частот. Материалы международной научной конференции «ИТС-2020», 2020 г., БГУИР Минск, Беларусь.
3. Philippow, E., Bruckner, P., Schaltungsanordnung zum Erzeugung sowie zum Transformation linearer und nichtlinearer frequenzabhandiger Zweitpole hoherer Ordnung. Patentanmeldung, TH Ilmenau, 1976.
4. И.И. Петровский, И.Л. Свито, Л.Ю. Шилин. Элементы высшего порядка в полосовых фильтрах. Материалы международной научной конференции «ИТС-2021», 2021 г., БГУИР Минск, Беларусь.

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ДОБАВЛЕНИЯ СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАДИГМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Рябинкин Г. М., Деренчук В. И.

Факультет компьютерных систем и сетей, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: herman.raibinkin@gmail.com

Парадигма программирования, используемая при разработке программного продукта, определяет его внутреннюю структуру и зависит от используемого языка программирования и выбранного разработчиками подхода к организации кода. Но так ли тесно каждый конкретный язык связан с определенными парадигмами, с которыми его ассоциируют, и есть ли возможность расширить этот список? В докладе обобщается опыт использования языков программирования совместно с парадигмами, которые не поддерживаются ими напрямую, а также рассматривается целесообразность привнесения в язык средств поддержки дополнительных парадигм.

ВВЕДЕНИЕ

Сфера разработки программного обеспечения на современном этапе весьма богата разнообразными инструментами, применяющимися как в прикладном, так и системном программировании. Речь идет не только о вспомогательном программном обеспечении, используемом в процессе разработки, но и о самих языках программирования и поддерживаемых ими конструкциях.

Каждый язык программирования предоставляет программисту, кроме сложившейся вокруг него экосистемы разнообразных инструментов, языковые средства, позволяющие опираться на конкретные возможности языка в процессе создания программного обеспечения. Совокупность предоставляемых средств определяет природу языка и побуждает программиста писать код в том или ином стиле, то есть позволяет разработчику думать о своем приложении в определенных категориях. Часто в таком случае говорят о стиле или парадигме программирования, которые могут поддерживаться конкретным языком.

I. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАДИГМЫ БЕЗ ПРЯМОЙ ПОДДЕРЖКИ СРЕДСТВАМИ ЯЗЫКА

Однако нередко из поля зрения исследователей исчезает тот факт, что парадигма программирования – это, в первую очередь, категория, определяемая отношением программиста к своему коду, его взглядом на программу, а не особенностями реализации того или иного языка программирования.

Для иллюстрации этого утверждения давайте рассмотрим практику написания кода на языке ассемблера. Исходя из набора имеющихся в нем конструкций, можно утверждать, что язык ассемблера предполагает возможность написания программ исключительно в рамках императивной парадигмы.

Вместе с этим, возможность оставлять метки в исходном тексте программы и их использование в качестве операндов некоторых команд позволяет программисту абстрагироваться от работы с адресами машинных инструкций и данных в оперативной памяти и мыслить категориями высокоуровневых языков программирования – переменными, составными операторами и т.д.

Кроме того, этот язык не имеет явных средств поддержки процедурного программирования, однако практика написания кода на ассемблере предполагает широкое использование подпрограмм, которые могут быть реализованы посредством операторов безусловного перехода и стека процессора.

Все это позволяет программисту размышлять о программе на более высоком уровне абстракции в категориях процедурного программирования, а не машинных команд, исполняемых непосредственно центральным процессором. Вместе с тем, этой возможности явно недостаточно, чтобы отнести язык ассемблера к процедурной парадигме, но и утверждать, что программа на ассемблере не может быть написана в процедурном стиле, исходя из вышеизложенного, мы тоже не имеем права.

Таким образом, мы можем говорить о связи языка программирования и некоторой парадигмы не только в категориях «поддерживает», «не поддерживает», но и расширить эту классификацию в зависимости от степени поддержки языком рассматриваемого стиля программирования.

II. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЯЗЫКА И ПАРАДИГМЫ

Возможна и ситуация, когда средства языка, воспрещают организацию исходного текста программы в соответствии с определенной парадигмой. В качестве примера такой связи между языком программирования и парадигмой мож-

но привести классический BASIC [1], в котором нет возможности создавать локальные переменные внутри подпрограмм, что делает невозможным использование неразрушающих парадигм.

Следовательно, язык программирования может делать абсолютно невозможным использование парадигмы программирования (что встречается довольно редко), либо допускать ее применение с разной степенью удобства для программиста и предоставляемыми преимуществами от ее использования.

Говоря о связи языка с определенной парадигмой программирования, создатель C++ Бьерн Страуструп приводил некоторые критерии «совместимости», которые, при должном обобщении, можно свести к идее, что используемые для реализации определенного стиля конструкции должны быть естественны для языка и поддерживаться им по умолчанию, либо быть комбинацией поддерживаемых языком конструкций, а также не вести к возникновению дополнительных расходов [2–3].

Допустимость накладных расходов, связанных с использованием конструкций языка, можно оценивать в контексте круга решаемых программой задач. Так, приложения на относительно медленных интерпретируемых языках в общем случае не пострадают от создания дополнительных переменных или обращения к функции, созданной для повышения читаемости кода, а вот аналогичные накладные расходы для кода, написанного на языке C++, в некоторых случаях могут ощутимо сказаться на производительности и тем самым не позволить программисту использовать отдельные конструкции языка.

Таким образом, даже предоставляемые по умолчанию языком средства поддержки определенной парадигмы программирования не могут использоваться в абсолютно любом контексте, что говорит о еще более слабой связи между языком программирования и «поддерживаемыми» им парадигмами, а также влиянии на эту связь и некоторых внешних по отношению к системе «язык – парадигма» факторов. Равно можно и утверждать, что конструкции, не предоставляемые языком по умолчанию, но получаемые путем комбинации доступных конструкций, могут расширять список поддерживаемых данным языком парадигм при допустимости привнесения в программу накладных расходов на их использование.

III. ДОБАВЛЕНИЕ В ЯЗЫК СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАДИГМ

Основываясь на общих требованиях к задачам, решаемым в области прикладного программирования, можно сказать, что в большинстве случаев накладные расходы, связанные с привнесением в язык новых конструкций, будут считаться несущественными.

Более того, в современной практике промышленного программирования широко распространены инструменты, расширяющие возможности языка за счет добавления средств поддержки различных парадигм программирования. Примером такой практики является современная экосистема, сложившаяся вокруг языка программирования Java, получившего признание в т.ч. благодаря поддержке развитых средств объектно-ориентированного программирования (далее – ООП). Де-факто, стандартом разработки приложений на этом языке стало использование фреймворка Spring [4], который навязывает разработчикам необходимость использовать аннотации, т.е. добавлять метainформацию к компонентам приложения, которая в дальнейшем обрабатывается внутренними модулями фреймворка для выполнения неких операций в ходе исполнения программы.

Когда программист для задания поведения компонентов приложения не пытается его переопределить через характерные для ООП инструменты – наследование и полиморфизм, а использует аннотации, то он перестает думать о взаимодействии компонентов своего приложения и модулей фреймворка в категориях, характерных для ООП. Речь уже идет о взгляде на приложение через парадигму метапрограммирования, средств поддержки которой по умолчанию Java не предоставляет. Пример Spring показывает, насколько удобным и практичным может стать привнесение в язык средств поддержки слабо связанных с языком парадигм и их применение для решения специальных задач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, добавление в язык программирования средств поддержки различных парадигм, способно расширить возможности языка и сделать исходный текст программ более гибким, а также снизить трудозатраты на разработку сложных программных систем.

Данная возможность особенно актуальна для языков, широко применяемых при решении задач прикладного программирования – C#, Java, Python, JavaScript и др. Они, в отличие от условно низкоуровневых языков, применяемых для системного программирования, в значительно меньшей степени чувствительны к накладным расходам, связанным с добавлением в язык конструкций, не поддерживаемых им нативно.

1. Столяров, А. В. Программирование: введение в профессию. IV: Парадигмы / А. В. Столяров // Москва: МАКС Пресс, 2020. – С. 68-69.
2. Stroustrup, B. A Tour of C++ / B. Stroustrup // 2nd ed. – Boston : Addison-Wesley. – 2018. – P. 93-98.
3. Stroustrup, B. Programming – Principles and Practice Using C++ / B. Stroustrup // 2nd ed. – Boston : Addison-Wesley. – 2014. – P. 806-818.
4. Snyk – JVM Ecosystem Report 2021 [Electronic resource] / Ed. B. Vermeer. – Utrecht University M.S., 2021. – Mode of access: <https://snyk.io/jvm-ecosystem-report-2021/>. – Date of access: 03.10.2022.

СИНТЕЗ ПИД-РЕГУЛЯТОРА МЕТОДОМ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ

Сатинов Е. Е., Петухов В. И., Кийко В. Н.

Центр 1.6, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

E-mail: satinov.ee.study@gmail.com, vladpetuhov88@mail.ru, kiyko@bsuir.by

Рассматриваются постановка задачи и принцип построения ПИД-регулятора методом обратной задачи динамики на примере коллекторного двигателя постоянного тока.

ВВЕДЕНИЕ

Когда идёт речь об обратных задачах, то под этим понимается задание, где требуется определить причины, если известны полученные в результате наблюдений следствия. Довольно распространены ситуации, в которых объект/процесс недоступны для непосредственного наблюдения. Например, когда требуется определить теплофизические параметры тела по измерениям некоторого температурного поля.

I. ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В качестве изучаемого объекта выступает динамическая система, и решение многих прикладных проблем вызывает необходимость определения неизвестных и недоступных прямому измерению характеристик динамической системы (возмущений, помех, управлений, коэффициентов, параметров) по измерениям ее фазовых состояний [2, с. 101].

Общая постановка задачи такова. Пусть имеется объект управления, который можно описать в виде дифференциального уравнения n -го порядка, представленного ниже, в котором присутствует возмущение и управляющий сигнал:

$$F(x^{(n)}, x^{(n-1)}, \dots, x, \xi, t) = u \quad (1)$$

Фазовые переменные, описывающие состояние объекта управления, возмущения ξ и управление u зависят от времени. Выражение (1) может быть нестационарным, т.е. параметры которого явно изменяются во времени, а также содержать нелинейности.

II. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ РЕГУЛЯТОРА

Принцип построения регулятора заключается в отработке известного закона управления, который описывается дифференциальным уравнением с порядком, не ниже порядка уравнения, описывающего объект управления [1, с. 238]:

$$f(x^{(m)}, x^{(m-1)}, \dots, x, \psi, \psi^{(1)}, \dots, \psi^{(k)}, t) = 0,$$

где $\psi, \psi^{(1)}, \dots, \psi^{(k)}$ – управляющий сигнал и его производные.

Количество производных выбирается так, чтобы полностью описать требуемый закон управления.

III. ПРИМЕР НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Рассмотрим организацию управления коллекторным двигателем постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. Метод обратной задачи динамики (ОЗД) будет использоваться для компенсации нелинейности в уравнении динамики двигателя, так как имеется существенное влияние нелинейного вязкого трения вала, пропорционального квадрату скорости его вращения. Уравнение электромеханической системы выглядит так:

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} (k_t \Phi I - B\omega - D\omega^2 - M_l);$$

$$\dot{I} = \frac{1}{L} (U - k_e \omega - RI).$$

Разработаем регулятор по методу ОЗД, чтобы динамика ошибки отработки задания по скорости двигателем соответствовала таковой для колебательного звена, описываемого выражением:

$$T^2 \ddot{\omega} + 2T\xi \dot{\omega} + \omega = \psi.$$

Чтобы получить выражение, окончательно описывающее регулятор, необходимо свести систему двух уравнений первого порядка к одному уравнению второго порядка [1, с. 267]. Для этого продифференцируем первое уравнение системы по времени (считая момент нагрузки неизменным):

$$J\ddot{\omega} = \Phi \dot{I} - B\dot{\omega} - 2D\omega\dot{\omega}.$$

Путём преобразований получим:

$$U = \frac{JL}{\Phi K_t} \left[\left(\frac{R}{L} + \frac{B}{J} - \frac{2\xi}{T} \right) \dot{\omega} + \frac{2D}{J} \omega \dot{\omega} + \left(\frac{\Phi K_t K_{e+RB}}{JL} - \frac{1}{T^2} \right) \omega + \frac{RD}{JL} \omega^2 + \frac{RM}{JL} + \frac{\psi}{T^2} \right].$$

Подадим на входы двух двигателей, один из которых дополнен регулятором, реализованным по принципу ОЗД, ступеньку с амплитудой 10 вольт в соответствии со схемой, изображённой на рисунке 1:

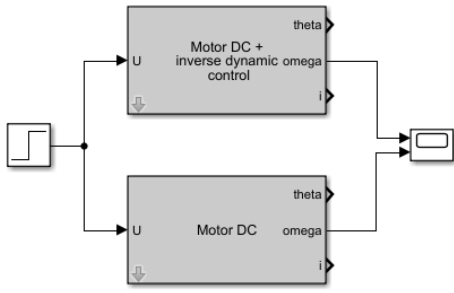


Рис. 1 – Схема для измерения реакции на воздействие

Реакция системы на ступеньку с амплитудой 10 вольт изображена на рисунке 2:

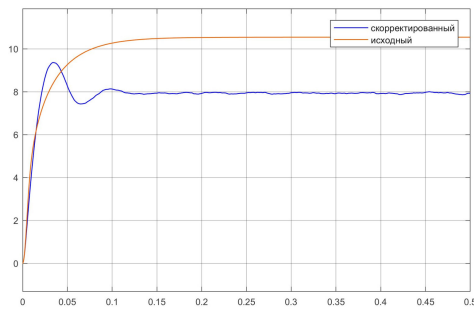


Рис. 2 – Реакция на ступеньку с амплитудой 10 вольт

Теперь сравним два двигателя с ПИД-регуляторами, структурная схема которых приведена на рисунке 3:

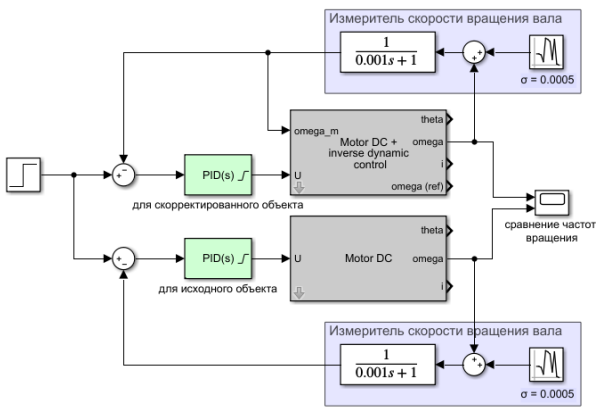


Рис. 3 – Структурная схема двигателей с ПИД-регуляторами

Реакция системы на ступеньку с амплитудой в 10 вольт изображена на рисунке 4:

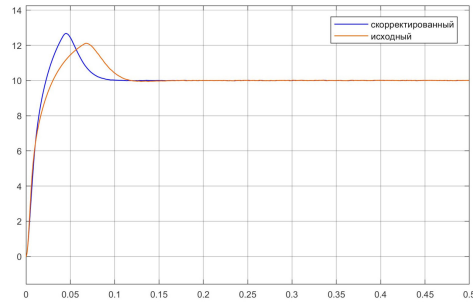


Рис. 4 – Реакция на ступеньку с амплитудой в 10 вольт

В первом случае (Рис. 2), видна нелинейная зависимость показателя колебательности скорректированной системы от амплитуды входного сигнала.

Во втором случае (Рис. 4) видно, что благодаря ПИД-регулятору, построенному по методу ОЗД, реакция системы на ступенчатый управляющий сигнал ускорилась, чего не удалось достичь применением обычного ПИД-регулятора из-за имеющейся в объекте управления нелинейности.

IV. Выводы

В статье был рассмотрен метод, позволяющий построить регулятор для управления нелинейными системами, что было рассмотрено на примере управления двигателем постоянного тока.

Основные преимущества этого метода: простота реализации требуемого закона управления, возможность управления нелинейными и нестационарными системами.

Недостатки метода: необходимость знания всего вектора состояния управляемой системы (для чего могут потребоваться операции дифференцирования, фильтрации), необходимость достаточно точной идентификации параметров управляемой системы, что может снизить робастность, необходимость исследования системы на неустойчивость.

V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. 2004.
2. Короткий, А. И., Обратные задачи динамики управляемых систем с распределенными параметрами, 1995, Известия высших учебных заведений. Математика, номер 11.
3. Бойчук Л.М. Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления. М., «Энергия», 1971.
4. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.

УМЕНЬШЕНИЕ ЭНЕРГОПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТЕ

Шабанович Р. А. Захарьев В. А.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: shabanovich.r.a@gmail.com

В докладе рассмотрены виды энергопотерь в электротранспорте, а также подходы по их минимизации.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с увеличением спроса на транспорт с электрическим приводом, растёт спрос на улучшение его ходовых характеристик, в частности запас хода. Для решения задачи можно улучшать механические, электронные и программные компоненты. Также их можно разделить на 2 группы зависимые и независимые от производителя. При проектировании необходимо учитывать все возможные потери, зависимые от производителя, а также необходимо учитывать климатические и рельефные особенности проживания пользователей и их возможные сценарии использования. Все потери рассмотрены на примере электровелосипеда, но применимо ко всем видам электротранспорта.

I. ВИДЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Энергетические потери могут быть заложены уже на стадии производства: плохая компонентная база, большой вес конструкции из-за неправильно подобранных материалов и лишних элементов, неправильное распределение веса, плохая жёсткость подвески при её наличии, несоответствующая конструкции заложённая мощность, отсутствие продвинутых алгоритмов управления двигателем. Климатические и рельефные особенности местности, а также возможные сценарии использования пользователем уже не зависят от производителя, но большинство из них также можно учесть при проектировании и производстве.

II. СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ЭНЕРГОПОТЕРЬ

Производитель может использовать компоненты с высоким коэффициентом полезного действия, сделать вес транспорта минимально возможным, например, использовать алюминий, титан или карбон вместо стали, строгий дизайн без лишних деталей, увеличивающих вес, более легкие колёсные шины, оптимальный по мощности двигатель. Также необходимо грамотно распределять вес, учитывая возможный вес водителя, использовать грамотную подвеску для со-

хранения жёсткости конструкции, при этом сохранять достаточную мягкость для комфортной езды. При проектировании платформы транспорта необходимо учитывать пассивное охлаждение для всех компонентов проводящих электрический ток, включая проводку и электродвигатель, так как при их нагреве увеличивается сопротивление, соответственно снижается коэффициент полезного действия всей системы и их рабочий ресурс. Использование системы климата для поддержания оптимальной температуры батареи, при которой будет максимальная отдача ёмкости и её набор при зарядке при минимальных временных затратах - нагрева и охлаждения, когда это необходимо, а также для сохранения ресурса батареи. Ограничение максимальной скорости на железном и программном уровне. Использование качественных механических компонентов, для минимизации трения движущих компонентов. Использование рекуперации для превращения механической энергии в электрическую при торможении и для минимизации стирания тормозных колодок и колёсных шин. Также возможно использование синхронизации со светофорами для избегания лишнего разгона и использования наката, но для этого уже необходимо дополнительное программное обеспечение. Модульность аккумулятора – для дальних поездок, ежедневных поездок по городу и поездок с повышенной нагрузкой. Аккумулятор может занимать от 20 до 70 процентов веса электротранспорта. Например, 20 процентов хорошо подходит для ежедневных поездок - запас хода 50-100 километров и – 70 процентов для дальних поездок, где запас хода может составлять вплоть до 500 километров или максимальной скорости для быстрого перемещения на менее длинные дистанции. Для решения может понадобиться приложение для расчёта поездки.

III. ВЫВОДЫ

Предлагаемые оптимизации помогают минимизировать потери не связанные с преодолением пути, повысить эффективность

использования аккумуляторной батареи, повысить уровень комфорта благодаря грамотному алгоритму управления, в общем улучшить опыт взаимодействия с электротранспортом, что приведёт к популяризации электротранспорта.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергоэффективность и энергетический менеджмент / Т. Х. Гулбрандсен, Л. П. Падалко, В. Л. Червинский. – Минск : БГАТУ, 2010. – 240 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЮЗАБИЛИТИ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Жданович Т. Ю., Захарьев В. А.

Кафедра систем управления,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: zhdanovichtanya02@gmail.com, zahariev@bsuir.by

В данном докладе будет рассмотрен вопрос о тестировании программного обеспечения, а в частности тестирование юзабилити. Приведены основные методики, по которым данное тестирование может проводиться. Понятие автоматизации тестирования, а также сравнение между мануальным и автоматизированным тестированием для тестирования юзабилити.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство программ, в том числе вебсайтов, слишком сложны для использования. Этот вывод следует из результатов тестирования удобства использования программного обеспечения, практических наблюдений и личного опыта проектировщиков ПО. Актуальность тестирования эргономических свойств пользовательского интерфейса (ПИ) мобильных приложений очевидна, так как без тестирования на степень удобства в использовании приложение не будет пользоваться популярностью у пользователей и повлечет коммерческий провал. Целью дипломного проекта является изучение видов и особенностей тестирования, выявление сильных и слабых элементов в интерфейсе и его улучшение в ходе процесса разработки. Объектом данного тестирования является веб-приложение. Основными задачами являются:

- изучение требований пользовательского интерфейса;
- изучение существующих способов тестирования;
- влияние внедрения тестирования пользовательского интерфейса на конверсию посетителей веб-приложения.

I. ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ЮЗАБИЛИТИ ТЕСТИРОВАНИЯ

Тестирование ПО — проверка соответствия между реальным поведением программы и её ожидаемым поведением на конечном наборе тестов, выполненных определённым образом.[1] Тестирование пользовательского интерфейса однозначно является одним из самых приоритетных компонентов тестирования. Качество интерфейса можно оценить по трем основным критериям[2], к которым можно применить количественное измерение: — минимальное время достижения поставленных целей; — минимальное число действий, совершенных пользователем, для достижения цели; — разница между ожидаемым и полученным в результате взаимодействия результатом. Согласно Дональду Норману, взаимо-

действие пользователя с любой системой можно разделить на четыре шага:

1. Стадия планирования.
2. Стадия трансляции.
3. Стадия физического действия.
4. Стадия оценки состояния.

Согласно стандарту ИСО 9241-11, юзабилити — это степень, с которой продукт может быть использован определенными пользователями при определенном контексте использования для достижения определенных целей с должной эффективностью, продуктивностью и удовлетворенностью.[3] Юзабилити имеет много компонентов и связано с признаками:

- обучаемость;
- эффективность;
- запоминаемость;
- ошибки;
- удовлетворенность.

Для того чтобы оценить эти параметры, проводится юзабилити-тестирование. Это набор методов и инструментов, которые позволяют определить, удобен и понятен ли объект тестирования для предполагаемого применения. Тестирование основывается на привлечении пользователей для оценки уровня реализации пользовательских свойств продукта Удобный пользовательский интерфейс может повысить простоту обучения, легкость использования, удовлетворенность работой и доверие к продукту

II. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ

Автоматизированное тестирование программного обеспечения — это процесс верификации программного обеспечения, при котором основные функции и шаги теста, такие как запуск, инициализация, выполнение, анализ и выдача результата, выполняются автоматически при помощи инструментов для автоматизированного тестирования.[4] Плюсы автоматизированного тестирования:

- автоматическое тестирование поможет вам найти больше ошибок по сравнению с человеком-тестировщиком;

- поскольку большая часть процесса тестирования автоматизирована, вы можете получить быстрый и эффективный процесс;
- автоматизированное тестирование проводится с использованием программных средств, поэтому оно работает без утомления и усталости в отличие от людей при ручном тестировании;
- автоматизированное тестирование поддерживает различные приложения;
- охват тестированием может быть увеличен, потому что инструмент тестирования автоматизации никогда не забывает проверить даже самый маленький блок.

Условно, тестируемое приложение можно разбить на 3 уровня:

- уровень модульного тестирования;
- уровень функционального тестирования;
- уровень тестирования через пользовательский интерфейс.

Для обеспечения лучшего качества продукта, рекомендуется автоматизировать все 3 уровня. Рассмотрим более детально стратегию. Хочется отметить, что целью автоматизации является повышение эффективности процесса тестирования за счет высвобождения специалистов и, следовательно, уменьшения затрат.

III. МЕТОДИКИ ТЕСТИРОВАНИЯ ЮЗАБИЛИТИ

Существует несколько методик тестирования юзабилити[1]:

- неформальные сеансы обратной связи;
- коридорное тестирование;
- модерлируемое удаленное тестирование;
- немодерлируемое удаленное тестирование;
- экспертная оценка;
- А/В тестирование.

Основным достоинством данных методик тестирования является то, что они могут быть использованы перекрестно. Самым первым этапом в оценке правильности разработки будет являться оценка именно после неформального тестирования. Если заказчик сможет с достаточной легкостью пользоваться нашим приложением при неформальном сеансе обратной связи, следовательно тестирование с помощью методики неформального общения прошло успешно. Второй методикой выбрана методика модерлируемой удаленной системы. Наш заказчик может подключиться удаленно к общему рабочему столу, где можно наблюдать в дальнейшем за результатом тестирования.

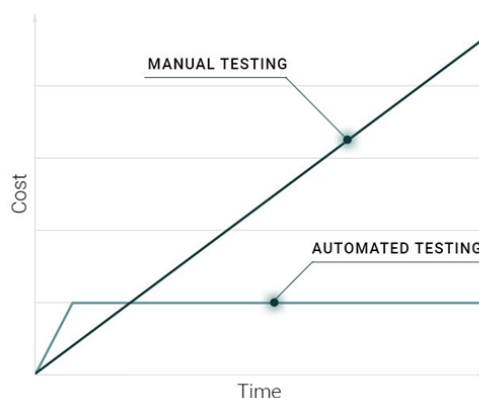


Рис. 1 – Соотношение трудозатрат и стоимости при ручном и автоматизированном тестировании

Третья методика — А/В тестирование. Данная проверка помогает заказчику, а также разработчикам проекта понять, насколько уместны новые изменения или есть смысл вернуться к предыдущей версии для новых изменений. Если использовать все три методики тестирования юзабилити последовательно, то результат будет намного успешнее. Ведь, начиная с первого этапа, продукт проверяется поверхностно. Переходя к последующим двум методикам, происходит углубление в продукт, а тем самым находят затерянные ошибки, которые разработчики успеют исправить до выхода продукта в релиз.

IV. ВЫВОДЫ

Одним из главных превосходств автоматизированного тестирования над ручным тестированием является исключение человеческого фактора. Да, людям свойственно ошибаться, поэтому и при проведении мануальных проверок некоторые баги могут ускользать от глаз тестировщиков. Также большим плюсом является то, что система не устает. сам процесс мануального тестирования является достаточно долгим и трудозатратным. Что касается тестирования эргономических показателей, считается, что лучше тестировать вручную. Но, если правильно проводить автоматизацию, то можно не только улучшить сам продукт по параметрам для удобства использования, но и сократить воздействия человеческого фактора, чтобы уйти от ненужных и случайных ошибок человека.

V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов, С. С. Тестирование программного обеспечения. Базовый курс: практическое пособие / С. С. Куликов. – 2015. – 294 с.
2. Сергеев, С. Ф. Методы тестирования и оптимизации интерфейсов информационных систем: учебное пособие / С. Ф. Сергеев. –СПб: – 2013. – 294 с.
3. ГОСТ Р ИСО 9241-11
4. Автоматизированное тестирование программного обеспечения - основные понятия [Электронный ресурс] /URL: <http://www.protesting.ru/automation/> – 2020.

Секция «Интеллектуальные
информационные технологии»

Section «Intelligent information
technologies»

Если файлы для шифрования находятся на виртуальной машине, то после шифрования надо удалить за собой скрипты. Это можно сделать импортировав модуль `sys` и вызвать метод `remove()`:

```
os.remove(str(sys.argv[0]))
```

II. ДЕШИФРОВАНИЕ НА PYTHON

При шифровании файлов и директорий рано или поздно настанет момент, когда нам понадобится их расшифровать. Поэтому при написании программы по шифрованию файлов, надо сразу же позаботиться об их дешифровании. Для шифрования необходимо пользоваться методами библиотеки, с помощью которой мы шифровали файлы, так как у разных библиотек методы и ключи шифрования отличаются.

Процесс дешифрования схож с шифрованием, отличается лишь методом `decryption()`:

```
def decryption(file, password):
    buffer_size=512*1024

    pyAesCrypt.decryptFile(
        str(file),
        str(os.path.splitext(file)[0]),
        password,
        buffer_size
    )

    print("[@a9n " +str(os.path.splitext(file)[0])+" дешифрован! ")
    os.remove(file)
```

Рис. 5 – Реализация функции `decryption()`

Результат дешифрования файлов:

```
создать папку...
[Баин C:/Users/ahapj/OneDrive/Изображения/Pictures for Main window[1418108118_ame-nebula-tumannost-krasota-tumannost-planet.jpg] дешифрован]
[Баин C:/Users/ahapj/OneDrive/Изображения/Pictures for Main window[Galaxy.jpg] дешифрован]
[Баин C:/Users/ahapj/OneDrive/Изображения/Pictures for Main window[Planet.jpg] дешифрован]
[Баин C:/Users/ahapj/OneDrive/Изображения/Pictures for Main window[Space.jpg] дешифрован]
[Баин C:/Users/ahapj/OneDrive/Изображения/Pictures for Main window[The Milky Way.jpg] дешифрован]
Process finished with exit code 0
```

Рис. 6 – Сообщение об удачной дешифровке файлов

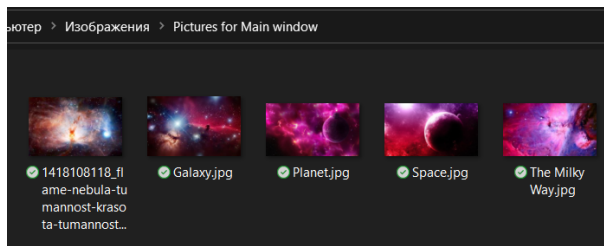


Рис. 7 – Результат дешифрования файлов

Как видно из рисунков, после компиляции мы получили сообщение об удачной дешифровке фотографий. У всех 5-ти фотографий отсутствует расширение `.cgr`, что дает нам возможность их открыть и просмотреть.

Если бы в данной директории находились одна или несколько других папок или файлы с другим расширением, то компилятор бы зашифровал/дешифровал как сами папки, так и файлы, находящиеся в них. В нашем случае был рассмотрен пример с шифрованием изображений, располагающихся в одной папке.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Python- высокоуровневый язык программирования, который позволяет осуществлять методы криптографического преобразования информации. Для чего достаточно установить специализированные минформации осуществляется это в строенной IDE Python. В нашем случае для шифрования файлов и директорий компьютера достаточно было подключить библиотеку `pyAesCrypt`, с помощью модулей и методов которой были реализованы шифрование и дешифрование изображений.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Криптография и взлом шифров на Python / Эл Свейгарт
2. Реализация и дешифрования шифров Виженера и Цезаря в Python / Ф. В.Черджиив. – Мск.: Инкарт, 2017. – 50 с.
3. Ефимов, И. М. Таинственные страницы занимательной криптографии // Вест. аритмол. – 2015. – С. 5–13.
4. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ФОТОГРАФИЙ В МОБИЛЬНОМ ФОТОРЕДАКТОРЕ MOVIE FILTER

Бодякова Д. Д.

Кафедра вычислительной техники и инженерной кибернетики, Уфимский государственный нефтяной
технический университет

Уфа, Российская Федерация

E-mail: dashabodiakova0308@gmail.com

В данной статье будет рассмотрено мобильное приложение фоторедактор Movie Filter, его особенности, а также целесообразность использования искусственного интеллекта для получения уникальных фотофильтров.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время фотография стала неотъемлемой частью культуры. Каждый человек сталкивается с фотографиями ежедневно и неоднократно. В широком смысле фотография – это технология и процесс получения изображения [1]. Благодаря широкой доступности аппаратных средств для съемки, программных средств для редактирования и возросшей популярности социальных сетей фотография получила мощнейший скачок популярности.

Пользователи довольно много времени уделяют созданию своего имиджа в социальных сетях. В связи с этим появляется спрос на уникальный контент. Визуальный пользовательский контент приобрел новый статус: из художественного, выразительного средства, способа документации события он превратился в средство коммуникации [2].

Так как требования аудитории к поставляемому им контенту постоянно растут, пользователь всегда находится в поисках новых и необычных способов редактирования фото, которые бы выгодно отличали его фото от тысячи остальных. И одним из самых распространенных на сегодняшний день способов редактирования является наложение цветного фильтра [3].

I. ПРИЛОЖЕНИЕ MOVIE FILTER

В представленной работе было создано приложение фоторедактор Movie Filter, созданное в процессе обучения на треке "Мобильная разработка" от ИТ Академии Samsung. Приложение имеет широкий функционал. В нём присутствуют как стандартные средства для редактирования фото (обрезка, поворот, сохранение в галерею), так и авторские (см. рис. 1).



Рис. 1 – Функционал приложения, представленный в виде кнопок на экране редактора

Авторские средства редактирования фото представлены двумя модулями приложения. Модуль авторских фотофильтров представляет из себя набор готовых решений для редактирования фото, вдохновленных на создание атмосферой знаменитых фильмов и сериалов (см. рис. 2).



Рис. 2 – Авторский набор фильтров

Также в приложении была реализована студия создания пользовательских фильтров. С помощью набора инструментов пользователь может реализовать все свои фантазии и создать настоящему уникальную и необычную обработку фото.

В студии пользователю предоставляется возможность выбора одного из четырех видов

градиентных или же одноцветного фильтров. Для каждого фильтра пользователь может выбрать до пяти различных цветов, регулируя при этом их прозрачность (см. рис. 3).

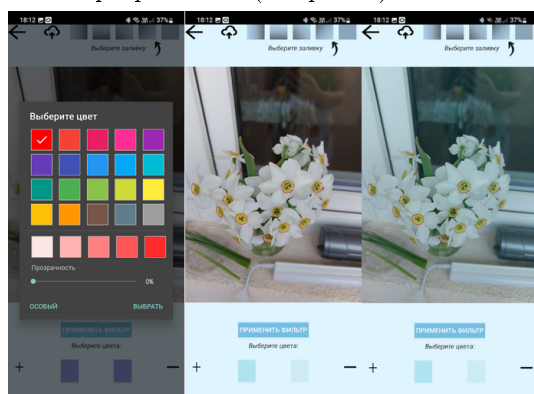


Рис. 3 – Создание пользовательского фотофильтра

Эти инструменты дают огромное количество вариаций наложенных фильтров, особенно, если учесть тот факт, что приложение не запрещает пользователю накладывать различные фильтры друг на друга. Создать такую студию невозможно при условии использования стандартных заготовленных фильтров, как это реализовано в других приложениях. Поэтому было решено разработать механизм программного создания фильтра.

Именно данный алгоритм выгодно отличает приложение Movie Filter от других приложений для непрофессиональной обработки фото посредством более расширенного функционала, который позволяет пользователю получать уникальные фото. Однако было принято решение о расширении функционала приложения после результатов опроса тестовой аудитории.

II. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ РЕДАКТИРОВАНИЯ ФОТО

После запуска приложения от тестовой аудитории начали поступать предложения по автоматизации процесса создания уникальных фотофильтров. Было предложено анализировать фото-пример, загруженное пользователем, на его основе создавать фильтр и накладывать данный фильтр на пользовательское фото. Данный модуль приложения планируется создавать с помощью искусственного интеллекта.

В настоящее время использование искусственного интеллекта и нейронных сетей для обработки изображений стало очень популярно. В авторском наборе фильтров реализован фильтр с распознаванием лица на фото. Он был создан с помощью продукта Machine Learning kit от Google. Обработка изображений представляет из себя довольно трудоёмкий и творческий процесс, поэтому данное занятие требует автоматизации. Обработка изображений уже автоматизирована во многих системах, к примеру, распознавание лиц на камерах наблюдения для поиска преступников и интеллектуальный анализ

рентгеновских снимков людей с подозрением на заболевания легких.

Так как Movie Filter – это мобильное приложение, то естественно, что использование памяти должно быть ограниченным. Следовательно, полноценная нейронная сеть сделала бы приложение слишком большим, а размещать нейронную сеть на сервере нецелесообразно, так как одним из преимуществ приложения является бесперебойная работа в отсутствии подключения к интернету. После анализа всех аргументов, было принято решение использовать комбинацию алгоритма и нейронной сети для обработки фото.

Алгоритм будет условно разделять фото на части по разным критериям, искать средний цвет этих частей и записывать результаты. А нейронная сеть будет оценивать полученные по каждому из разделений данные и на их основании выбирать наилучший вариант. Далее с помощью стандартного алгоритма будет создан фотофильтр и наложен на изображения пользователя.

Данный алгоритм открывает перед пользователем новые возможности редактирования фото. Теперь, чтобы повторить атмосферу кинофильма не нужно будет самому анализировать фото и пытаться создать фильтр в студии создания пользовательских фильтров, а достаточно всего лишь загрузить изображение, оформление которого хотелось бы скопировать.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было рассмотрено мобильное приложение фоторедактор Movie Filter. На основании мнения тестовой аудитории были сделаны выводы относительно функционала приложения, а также приняты во внимание предложения по улучшению. В связи с чем планируется создавать ещё один модуль приложения, отвечающий за создание фотофильтров посредством интеллектуального анализа изображений и копирования их стилистики, а конкретно цветосветовой составляющей. Данный модуль позволит значительно улучшить набор инструментов приложения и расширить возможности пользователей для редактирования фото. Следовательно согласно проведенному анализу требований тестовой аудитории приложение Movie Filter при добавлении нового модуля будет пользоваться повышенным спросом среди пользователей.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лавринова, Н. Н. Фотография в современном культурном пространстве // Colloquium-journal. 2019. №22 (46)
2. Дроздова, А.В. Визуальные способы представления повседневности в новых медиа // Вестник РГГУ. Серия: Литературоведение. Языкознание. Культурология. 2017. №6 (27).
3. Бодякова, Д.Д. Алгоритмическая основа Android-приложения фоторедактора Movie Filter / Д.Д. Бодякова // Наука и инновации XXI века. – 2022. – № 34. – С. 33-37.

ОТ СОБЫТИЙНЫХ МНОЖЕСТВ К РАСТЯЖИМЫМ МНОЖЕСТВАМ

Ивашенко В. П.

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

В работе предлагаются и рассматриваются элементы алгебры растяжимых множеств как математический аппарат модели унифицированного семантического представления знаний, обеспечивающий интеграцию знаний на базе их денотационной, операционной и игровой семантики.

ВВЕДЕНИЕ

Для выражения классическими математическими средствами базовой теоретико-множественной семантики языков модели унифицированного семантического представления знаний (УСПЗ) [1] предлагался аппарат событийных (ситуативных) множеств [1–2]. Однако, этот аппарат не исчерпывал семантику некоторых текстов, обладающих НЕ-факторами [1–3] неоднозначности (становления элемента множества), выраженных кратными обозначениями связок (не)принадлежности ((sc-)мультимножествам).

С целью более полного выражения семантики языков модели УСПЗ (ЯУСПЗ) предлагается обобщить понятие событийного (ситуативного) множества [1–2] до понятия растяжимого множества.

I. ОСНОВЫ АЛГЕБРЫ СОБЫТИЙНЫХ МНОЖЕСТВ

Рассмотрим событийные множества на множестве элементов $Universe$ и множестве событий $Events$:

$$\Theta = 2^{Events} \times \Psi^{Universe},$$

где

$$\Psi = \nabla \times (\Delta^{Events}),$$

$$\nabla = \bigcup_p^{p \in \mathbf{Z}_+} D^{(D^{p-1})},$$

$$\Delta = \bigcup_q^{q \in \mathbf{Z}_+} D^{(D^{q-1})},$$

а $D = [0; 1]$.

Алгебра событийных множеств включает алгебраические операции:

$$\{\cap_{\Theta}\} \cup \{\cup_{\Theta}\} \cup \{\oplus_{\Theta}\} \subseteq \Theta^{\Theta \times \Theta},$$

которые могут быть выражены:

$$\langle \alpha, \delta \rangle \cap_{\Theta} \langle \beta, \gamma \rangle = \langle \alpha \cup \beta, \tau(\langle \delta, \gamma, \cap_{\Psi}, Universe \rangle) \rangle,$$

$$\langle \alpha, \delta \rangle \cup_{\Theta} \langle \beta, \gamma \rangle = \langle \alpha \cup \beta, \tau(\langle \delta, \gamma, \cup_{\Psi}, Universe \rangle) \rangle,$$

$$\langle \alpha, \delta \rangle \oplus_{\Theta} \langle \beta, \gamma \rangle = \langle \alpha \cup \beta, \tau(\langle \delta, \gamma, \oplus_{\Psi}, Universe \rangle) \rangle,$$

через операции:

$$\{\cap_{\Psi}\} \cup \{\cup_{\Psi}\} \cup \{\oplus_{\Psi}\} \subseteq \Psi^{\Psi \times \Psi}.$$

Последние выражаются через операции:

$$\{\cap_{\Delta}\} \cup \{\cup_{\Delta}\} \cup \{\oplus_{\Delta}\} \subseteq \Delta^{\Delta \times \Delta}$$

и отображения:

$$\{\cap_{\nabla}\} \cup \{\cup_{\nabla}\} \cup \{\oplus_{\nabla}\} \subseteq (\nabla^{\Delta^{Events}})^{\nabla \times \nabla}$$

следующим образом:

$$\langle \alpha, \delta \rangle \cap_{\Psi} \langle \beta, \gamma \rangle = \kappa(\langle \alpha, \beta, \cap_{\nabla}, \tau(\langle \delta, \gamma, \cap_{\Delta}, Events \rangle) \rangle),$$

$$\langle \alpha, \delta \rangle \cup_{\Psi} \langle \beta, \gamma \rangle = \kappa(\langle \alpha, \beta, \cup_{\nabla}, \tau(\langle \delta, \gamma, \cup_{\Delta}, Events \rangle) \rangle),$$

$$\langle \alpha, \delta \rangle \oplus_{\Psi} \langle \beta, \gamma \rangle = \kappa(\langle \alpha, \beta, \oplus_{\nabla}, \tau(\langle \delta, \gamma, \oplus_{\Delta}, Events \rangle) \rangle),$$

где

$$\kappa(\langle \alpha, \beta, \varphi, \varepsilon \rangle) = \langle \varphi(\langle \alpha, \beta(\varepsilon) \rangle), \varepsilon \rangle.$$

В свою очередь остальные операции и отображения выражаются через:

$$\{\cap_D\} \cup \{\cup_D\} \cup \{\oplus_D\} \subseteq D^{D \times D},$$

$$\zeta \in \left(\bigcup_p^{p \in \mathbf{Z}_+} D^{(D^{p-1})} \right)^{(\mathbf{Z}_+ \times D)},$$

$$\nu \in \mathbf{Z}_+ \left(\bigcup_p^{p \in \mathbf{Z}_+} D^{(D^{p-1})} \right),$$

$$\mu \in D \left(\bigcup_p^{p \in \mathbf{Z}_+} D^{(D^{p-1})} \right)$$

следующим образом:

$$\alpha \cap_D \beta = \zeta(\langle \nu(\alpha) \cup_{\mathbf{Z}_+} \nu(\beta), \mu(\alpha) \cap_D \mu(\beta) \rangle),$$

$$\alpha \cup_D \beta = \zeta(\langle \nu(\alpha) \cup_{\mathbf{Z}_+} \nu(\beta), \mu(\alpha) \cup_D \mu(\beta) \rangle),$$

$$\alpha \oplus_D \beta = \zeta(\langle \nu(\alpha) \cup_{\mathbf{Z}_+} \nu(\beta), \mu(\alpha) \oplus_D \mu(\beta) \rangle),$$

где $\cup_{\mathbf{Z}_+} = \max$, и, например, $\cap_D = \min$, $\cup_D = \max$, $\alpha \oplus_D \beta = (\alpha \cap_D (1 - \beta)) \cup_D ((1 - \alpha) \cap_D \beta)$.

Причём:

$$\forall \varphi \forall p \left(\left(\varphi \in D^{(D^{p-1})} \right) \rightarrow (\nu(\varphi) = p - 1) \right),$$

$$\forall \sigma \forall p \forall \varepsilon \left(\left(\sigma \in D^{p-1} \right) \rightarrow (\zeta(\langle p, \varepsilon \rangle)(\sigma) = \pi(\sigma + \langle \varepsilon \rangle)) \right),$$

$$\forall \sigma \left(\left(\sigma \in \{1\}^{\nu(\chi)-1} \right) \rightarrow (\mu(\chi) = \chi(\sigma)) \right),$$

где:

$$\chi \in D^{(D^{\nu(\chi)-1})},$$

$$\pi(\langle \rangle) = 1,$$

$$\pi(s + \langle e \rangle) = e \cdot \pi(s) + (1 - e) \cdot (1 - \pi(s))$$

или в рекуррентной форме:

$$\pi(s) = \frac{1 + (-1)^{\dim(s)} \cdot \sum_{i \in \mathbf{N} \cup \{0\}} \frac{(-2)^i}{i!} \cdot \sum_m \prod_j m_j^{s_j}}{2}$$

II. ОСНОВЫ АЛГЕБРЫ РАСТЯЖИМЫХ МНОЖЕСТВ

Растяжимые множества на множестве элементов $Universe$ и множестве событий $Events$:

$$\Xi = 2^{Events} \times \left(\bigcup_s^{s \in \square} \Psi^s \right)^{Universe},$$

где \square – множество видов вхождений (может быть линейно упорядоченным [5]).

Алгебра растяжимых множеств включает алгебраические операции:

$$\{\cap_{\Xi}\} \cup \{\cup_{\Xi}\} \cup \{\oplus_{\Xi}\} \subseteq \Xi^{\Xi \times \Xi},$$

которые могут быть выражены:

$$\langle \alpha, \delta \rangle \cap_{\Xi} \langle \beta, \gamma \rangle = \langle \alpha \cup \beta, \tau(\langle \delta, \gamma, \cap_{\Phi}, Universe \rangle) \rangle,$$

$$\langle \alpha, \delta \rangle \cup_{\Xi} \langle \beta, \gamma \rangle = \langle \alpha \cup \beta, \tau(\langle \delta, \gamma, \cup_{\Phi}, Universe \rangle) \rangle,$$

$$\langle \alpha, \delta \rangle \oplus_{\Xi} \langle \beta, \gamma \rangle = \langle \alpha \cup \beta, \tau(\langle \delta, \gamma, \oplus_{\Phi}, Universe \rangle) \rangle,$$

где

$$\Phi = \bigcup_s^{s \in \square} \Psi^s,$$

$$\tau(\langle \alpha, \beta, \varphi, \sigma \rangle) = \{ \langle \chi, \varphi(\langle \alpha(\chi), \beta(\chi) \rangle) \mid \chi \in \sigma \},$$

а операции

$$\{\cap_{\Phi}\} \cup \{\cup_{\Phi}\} \cup \{\oplus_{\Phi}\} \subseteq \Phi^{\Phi \times \Phi}$$

– в свою очередь:

$$\alpha \cap_{\Phi} \beta = \tau(\langle \alpha, \beta, \cap_{\Psi}, \square \rangle),$$

$$\alpha \cup_{\Phi} \beta = \tau(\langle \alpha, \beta, \cup_{\Psi}, \square \rangle),$$

$$\alpha \oplus_{\Phi} \beta = \tau(\langle \alpha, \beta, \oplus_{\Psi}, \square \rangle).$$

III. ОБОБЩЕНИЕ РАСТЯЖИМЫХ МНОЖЕСТВ

Альфа-типизированные шкалированные множества ($Universe = U$):

$$\{\alpha\} \times 2^{Events} \times \left(\bigcup_s^{s \in \square_{\alpha}} \left(\nabla_{\alpha} \times \left((\Delta_{\alpha})^{Events} \right)^s \right) \right)^U$$

Альфа-типизированные шкалированные множества параметризуют меры принадлежности для событийных (ситуативных) и растяжимых множеств, позволяя рассматривать всевозможные механизмы задания различных мер.

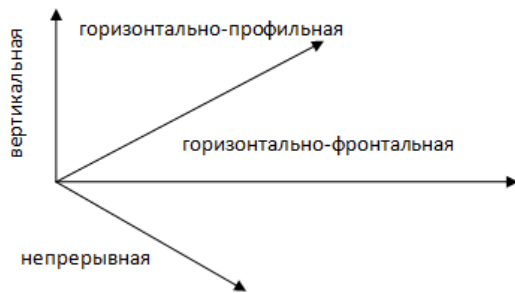


Рис. 1 – Направления интеграции

В интеллектуальных системах важным качеством для их обучения является возможность интеграции знаний и моделей решения задач. Основными видами интеграции являются: вертикальная, горизонтально-фронтальная, горизонтально-профильная и непрерывная интеграция (Рис. 1). Вертикальная интеграция направлена вдоль «часть-целое», непрерывная интеграция направлена вдоль «становления», горизонтальная – вдоль «одновременно», профильная – вдоль рефлексивной семантики, а фронтальная – вдоль проективной.

Решение задач вертикальной интеграции может быть обеспечено средствами модели обобщённых формальных языков [2,4], горизонтально-фронтальная интеграция обеспечивается коммуникацией и средствами унификации (например, ЯУСПЗ) [1]. Горизонтально-профильная и непрерывная интеграция обеспечиваются семантическими средствами используемых языков представления знаний [1-2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Событийные (ситуативные [1-2], L-нечёткие [3]) и предлагаемые растяжимые и альфа-типизированные шкалированные множества направлены на решение задач горизонтально-профильной и непрерывной интеграции в целях возможности формализации не только денотационной, но операционной и игровой семантик [5-7] ЯУСПЗ [1]. В отличие от событийных множеств растяжимые множества позволяют формализовать средствами ЯУСПЗ процессы адаптации сложных понятий, являющихся аналогами рефлексивных отношений и структур, включающих аналоги множеств с неограниченным числом элементов и\или их вхождений. Развитие предполагает выявление моделей для описания становления структур знаний в процессах интеграции, соответствующих семантических метрик и правил их расчёта.

1. Ивашенко, В. П. Модели и алгоритмы интеграции знаний на основе однородных семантических сетей : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.17 / В. П. Ивашенко. -- Минск, 2014. – 152 с.
2. Ивашенко, В. П. Модели решения задач в интеллектуальных системах. В 2 ч. Ч. 1 : Формальные модели обработки информации и параллельные модели решения задач : учеб. метод. пособие / В. П. Ивашенко. -- Минск : БГУИР, 2020. — 79 с.
3. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
4. Ивашенко, В. П. От теоретико-множественных моделей к симплицияльным моделям языков / В. П. Ивашенко // Карповские научные чтения: сб. науч. ст. -- Минск, 2016. -- Вып. 10, ч. 1. -- С. 248--253.
5. Conway, J. H. On numbers and games. – AK Peters/CRC Press, 2000. – 242 p.
6. Blass, A. A game semantics for linear logic / A. Blass // Annals of Pure and Applied Logic. – 1992. – 56. – P. 151– 166.
7. Ивашенко, В. П. Операционная семантика многоагентных систем обработки знаний. / В. П. Ивашенко // Информационные технологии и системы 2020 (ИТС 2020). – Минск: БГУИР, 2020. – С. 78–79.

СЕМАНТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА БАЗЕ ИНТЕГРАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ

Ивашенко В. П.

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

В работе рассматривается применение интеграционной платформы для разработки программных компонентов на основе модели унифицированного семантического представления знаний.

ВВЕДЕНИЕ

Востребованность интеграции для решения задач в интеллектуальных системах обоснована в [1–2]. Основными видами интеграции [1] являются: вертикальная, горизонтально-фронтальная, горизонтально-профильная и непрерывная интеграция (Рис. 1).

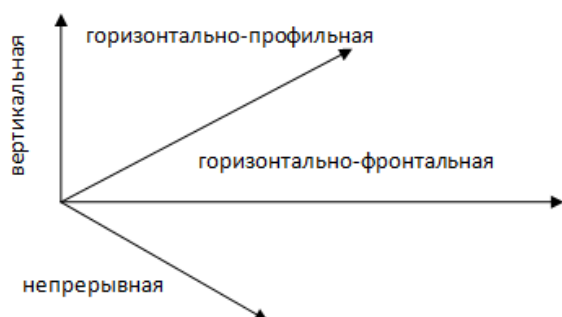


Рис. 1 – Направления интеграции

Решение задач вертикальной интеграции может быть обеспечено средствами модели обобщённых формальных языков [2], горизонтально-фронтальная интеграция обеспечивается коммуникацией и средствами унификации (например, языками модели унифицированного семантического представления знаний). Горизонтально-профильная и непрерывная интеграция обеспечиваются семантическими средствами используемых языков представления знаний и принципами обработки знаний [2]. Предлагаемые средства состоят из системы взаимодействующих программных компонент [1–3], использующих унифицированные модели семантического представления и обработки знаний [1–3] с целью интегрированной разработки новых программных компонент. Процесс их разработки сводится к их построению в результате обучения и генерации по образцу [4] путём семантического протоколирования [5] взаимодействий пользователя с системой [2].

ОБЩАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Общая модель представления и обработки программных компонент и библиотек компо-

нентов [3] строится на основе (реляционной модели) типологии (таксономии) компонент и команд операций их обработки.

Основными видами компонент являются:

1. Интерфейсно-диалоговые компоненты (ИДК).
2. Репрезентационные компоненты (РК).
3. Компоненты обработки потока знаний (ОПЗ).

Команды редактирования ИДК:

1. Создать ИДК.
2. Заменить сообщение ИДК.
3. Заменить конструирующую процедуру ИДК.
4. Заменить проверяющую процедуру ИДК.
5. Добавить ссылку на ИДК.
6. Удалить ссылку из ИДК.

Команды навигации для ИДК:

1. Получить сообщение ИДК.
2. Получить конструирующую процедуру ИДК.
3. Получить проверяющую процедуру ИДК.
4. Получить компоненты ИДК, на которые он ссылается.
5. Выбрать ИДК.

К РК относятся: протокол процесса взаимодействия с пользователем, процедуры, исходные тексты, библиотеки компонент (БК), онтологии: терминологические словари (образные представления), тезаурусы, таксономии, реляционные модели, (конъюнктивные) высказывания. При создании компонент-процедур протоколируются команды пользователя и результаты соответствующих операций над структурами знаний и данных. При этом используются соответствующие интерфейсно-диалоговые компоненты (Рис. 2).

Команды редактирования репрезентативных компонент (РК):

1. Начать создание РК указанного типа.
2. Завершить создание РК указанного типа.
3. Создать РК путём интеграции компонент.
4. Создать РК из части репрезентативного компонента.

5. Создать РК из фрагмента репрезентативного компонента протокола.
6. Преобразовать РК протокола в РК указанного типа.
7. Преобразовать РК в БК.
8. Добавить компонент в раздел БК.
9. Скопировать компоненты в новый подраздел из раздела БК.
10. Выгрузить компонент.
11. Загрузить компонент.

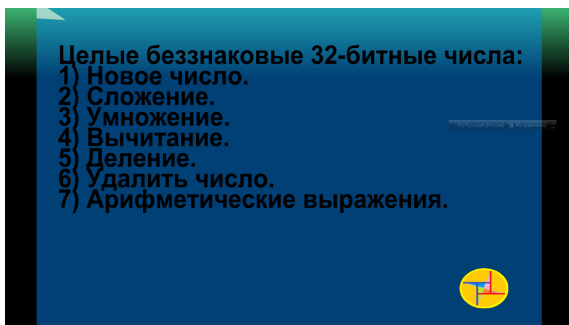


Рис. 2 – Арифметические команды над целыми 32-битными беззнаковыми числами

Команды навигации по БК:

1. Получить основной раздел БК.
2. Получить подразделы раздела БК.
3. Получить компоненты раздела БК.
4. Выбрать раздел БК.
5. Выбрать компонент БК.

Структура библиотеки исходных текстов может быть представлена внешним образом (json):

```
{"g" : {"n" : "2 8194"}, "test" : ["#./g/n", ...]}
```

или конструкцией в базе знаний [3] (Рис. 3).

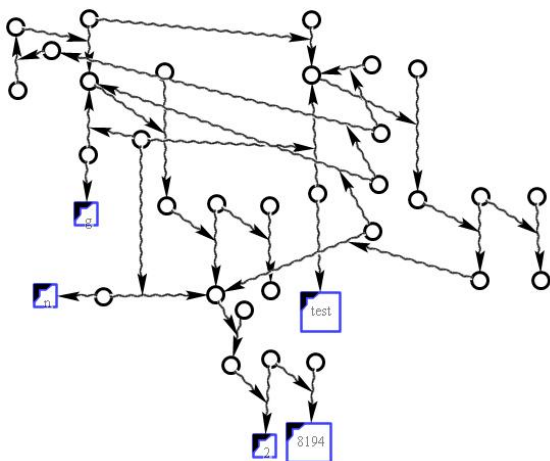


Рис. 3 – Структура библиотеки исходных текстов

Команды редактирования для компонентов ОПЗ:

1. Создать компонент ОПЗ.
2. Заменить процедуру компонента ОПЗ.
3. Установить компонент сообщения в качестве компонента ОПЗ.
4. Поменять потоки знаний разветвителя (компонента слияния).

5. Подключить компонент слияния к разветвителю.
6. Вставить компонент ОПЗ.
7. Изъять компонент ОПЗ.
8. Исключить систему компонентов второго потока знаний разветвителя (компонента слияния).

Команды навигации для компонентов ОПЗ:

1. Получить процедуру компонента ОПЗ.
2. Получить предшествующие компоненты компонента ОПЗ.
3. Получить последующие компоненты компонента ОПЗ.
4. Получить компонент сообщения.
5. Получить компонент ОПЗ.
6. Выбрать компонент ОПЗ.

Общими командами для компонент являются команды: получения типа компонента; получения авторов компонента; получения протокола преобразования компонента. Права на компонент определяются в соответствии с множеством автором и моделью управления доступом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спроектирована общая модель представления и обработки программных компонентов и БК, использующих унифицированное семантическое представление знаний, способных обеспечить и ускорить разработку интеллектуальных систем на базе интеграционной платформы [1–2]. Развитие модели предполагает описание средств формирования развёрнутой спецификации компонентов, включая их детализированную типологию на основе семантики использующих компонент операций, требуемых для решения задач.

1. Ивашенко, В. П. Технология разработки программных компонентов интеллектуальных систем на основе интеграционной платформы / В. П. Ивашенко // Информационные технологии и системы 2021 (ИТС 2021) : материалы междунар. науч. конф. (Республика Беларусь, Минск, 24 ноября 2021 года) / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск: БГУИР, 2021. – С. 84–85.
2. Ivashenko, V. Application of an integration platform for ontological model-based problem solving using an unified semantic knowledge representation / V. Ivashenko // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2021) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2021. – Вып. 5. – С. 179–186.
3. Гаврилова, Т. А. Технология построения баз знаний на основе однородных семантических сетей / Т. А. Гаврилова, Н. А. Гулякина, В. П. Ивашенко // Информационные системы и технологии (IST2010). – Минск, 2010. – С. 450–453.
4. Waszkowski, R. Low-code platform for automating business processes in manufacturing // IFAC-PapersOnLine. – 2019. – Т. 52. – №. 10. – С. 376–381.
5. Ivashenko, V. Semantic Logging of Repeating Events in a Forward Branching Time Model / V. Ivashenko, N. Zotov, M. Orlov // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP 2021). – Minsk, 2021. – P. 149–152.

СИСТЕМА РЕКОМЕНДАЦИИ В ОБЛАСТИ ОБРАЗОВАНИЯ И КУРСОВ

Халецкий А. М.

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

В данной публикации рассказывается о системе, которая упрощает выбор курсов учащихся. Объясняется метод применения образовательного интеллектуального анализа, сбор данных об образовании, который начинается с предварительной обработки необработанных данных, которые разделены на категории. Описан сам метод сбора данных для извлечения значимой информации, которая лежит в основе рекомендации, а так же оценка созданной системы.

ВВЕДЕНИЕ

Успех data mining при применении к нескольким видам бизнеса имеет свои доказательства, благодаря своей способности извлекать, открывать и представлять в интерпретируемой форме интересные и новые закономерности из больших объемов информации. Применение этих методов в отношении образовательного контекста в последнее время и обусловлено последними достижениями в области образовательных технологий: в настоящее время можно извлекать большие массивы данных из многих источников образовательной информации. С развитием Интернета в настоящее время возможно распространение образования через веб-сервисы: в настоящее время можно использовать системы электронного обучения, которые обеспечивают онлайн-обучение, системы управления обучением, которые облегчают общение между преподавателями и учащимися, а также существуют интеллектуальные системы обучения и образовательные гипермедийные системы, которые направлены на адаптацию к конкретным потребностям бизнеса, предоставляя наилучшие ресурсы для улучшения знаний сотрудников.

I. СБОР ДАННЫХ ОБ ОБРАЗОВАНИИ

Educational data mining начинается с предварительной обработки необработанных данных (собранных из многих источников), применяя наиболее подходящие методы извлечения данных, а затем осуществляет их дальнейшую обработку, в результате которой получается структурированная информация, способная лучше понять процесс обучения в области образования. Можно разделить EDM на одиннадцать основных категорий следующим образом:

1. Анализ и оценка;
2. Обратная связь для преподавателей, оказывающих поддержку;
3. Рекомендации для обучающихся;
4. Прогнозирование оценок обучающихся;
5. Моделирование обучающихся;

6. Обнаружение нежелательного поведения учащихся;
7. Группировка обучающихся;
8. Социальный сетевой анализ;
9. Разработка планов;
10. Построение учебных программ;
11. Составление расписания.

В связи с успешной применимостью как сбора образовательных данных, так и обучения с использованием веб-технологий, возрос интерес к применению систем рекомендаций в этой конкретной области. Таким образом, в условиях образования уже существует большое число систем рекомендаций, которые отличаются от других рекомендуемых лиц (например, рекомендуемых продукты) по различным целям, которые они пытаются достичь. Тем не менее, необходимо выявить особенности систем рекомендаций, ориентированных на образование, чтобы обеспечить развитие и оценку.

II. МЕТОД СБОРА ДАННЫХ

подавляющее большинство систем DM будет использовать один (или более) из известных различных подходов. Можно классифицировать каждую систему рекомендаций в соответствии с подходами по добыче данных, которые они используют для извлечения значимой информации, которая лежит в основе их рекомендаций. Можем разделить ее на две основные категории:

1. Неконтролируемые техники. Эта категория определяется набором методик, которые не используют никаких внешних знаний для руководства процессом сбора знаний при поиске любой закономерности в данных. Другими словами, в процессе обучения не даются правильные результаты. Наиболее популярными примерами этого класса методик являются правила кластеризации и ассоциации;
2. Контролируемые техники. В отличие от категории, описанной выше, этот набор методик может использовать знания о данных для создания точной модели, которая может корректно классифицировать экзем-

плярные области в процессе анализа. Эти знания представляют собой не более чем метку или класс для каждого известного экземпляра. Таким образом, после обучения созданная модель сможет обобщать классификацию для каждого нового экземпляра. В этой группе выделяются несколько методов, таких как деревья принятия решений, байесовские сети и нейронные сети;

III. МЕТОДОЛОГИЯ И РЕКОМЕНДАЦИЯ КУРСОВ

Предлагается система, которая может рекомендовать набор курсов, которые максимально повышают вероятность хорошей академической успеваемости студентов с учетом их предыдущих оценок. Данное предложение исследует исторические оценки студентов, используя сингулярные значения декомпозиции вершины совместного подхода к фильтрации, чтобы захватить скрытые латентные особенности, которые могут объяснить оценки, полученные обучающимися. Был выбран принцип SVD (сингулярное разложение матриц), его можно использовать для обнаружения скрытых скрытых функций, которые могут объяснить результаты, полученные учащимися. Также рассматривается проблема неполноты профилей студентов на момент рекомендации, используя классификаторы ASAP. Классификаторы ASAP по-другому представляют те данные, которые обычно используются в классификации. Пропустив изучение того, как можно обрабатывать данные для достижения более высокой точности классификации что является основной проблемой, изучаемой в этой области эта методика подходит к проблеме классификации частично наблюдаемых экземпляров, когда классификаторы могут быть обучены полностью наблюдаемым экземплярам.

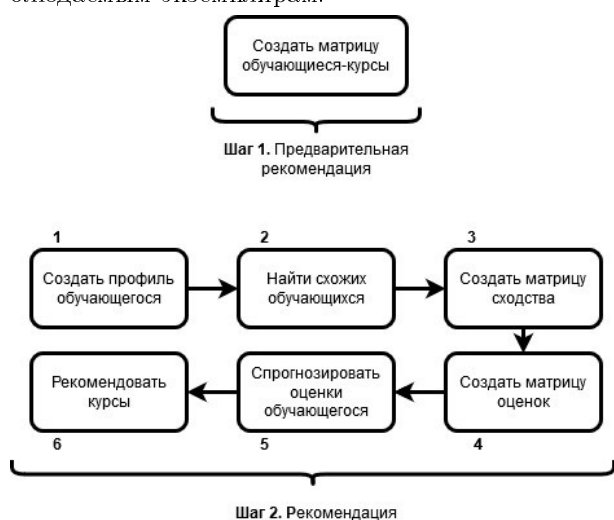


Рис. 1 – Основные этапы процесса подготовки рекомендаций

IV. ОЦЕНКА СОЗДАННОЙ СИСТЕМЫ

Больше внимания уделяется оценке точности прогнозирования оценок. Таким образом, если достигается низкая погрешность в предсказаниях, то можно с уверенностью рекомендовать курсы. Учащиеся могут выбрать более 200 различных курсов. Для всех курсов можно выставить оценку от 1 до 5. В проводимых исследованиях систем рекомендаций используется несколько видов мер для оценки успешности рекомендаций. Однако правильный способ оценки каждой системы в значительной степени зависит от целей и сферы применения системы. Рекомендательный процесс можно разделить на две различные проблемы: предсказание оценок и решение о том, какие курсы рекомендовать с учетом вычисленных прогнозов. Общее качество рекомендаций, независимо от метода, используемого для их получения, в значительной степени зависит от качества прогнозов. То есть, чем меньше ошибка на рекомендуемых курсах, тем лучше будет качество выдаваемых рекомендаций.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор курсов для обучения является одним из самых решающих шагов учащегося. Студентам все еще сложно выбрать для себя оптимальный набор курсов, и в большинстве случаев у них нет необходимой поддержки и консультаций, необходимых для принятия решения. В данной публикации мы показываем, что можем использовать известные методы рекомендаций, чтобы рекомендовать студентам курсы, которые не только интересны им, но и наиболее схожи с их навыками.

VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Messina, E. R. Measuring the Performance and Intelligence of Systems / E. R. Messina, A. M. Meystel // N. Engl. . – 2001. – Vol. 342, № 982. – P. 164.
2. Системы искусственного интеллекта. Учебное пособие. / М. В. Бураков . – СПб.: Инкарт, 2010. – 440 с.
3. Флах, П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / пер. с англ.// Вест. аритмол. – 2015. – С. 400.
4. Самообучающиеся системы. / С. И. Николенко, А. Л. Тулупьев // – МЦНМО, 2009. – 288 с.
5. Vialardi, C. Recommendation in higher education using data mining techniques / C. Vialardi, J. Bravo // N. Engl. – May 2009., – P. 190–199/
6. Gutierrez, F. Providing grades and feedback for student summaries by ontology-based information extraction / F. Gutierrez, D. Dou // N. Engl. – September 2012., – P. 1722–1726/

TRACKING THE FLOW OF MOTOR VEHICLES ON THE ROADS WITH YOLOV5 AND DEEPSORT ALGORITHMS

Kuchkarov T. A., Hamzayev J. F., Allamuratova Z. J.

Department of Computer systems, Department of information computer technologies and programming
TUIT named after Muhammad al-Khwarizmi Tashkent, joint faculty TUIT-BSUIR
Tashkent, Uzbekistan

E-mail: {timanet4u, hamzayevjf, zamira.lars}@gmail.com

This article describes one of the most important steps in smart transportation systems, which is to count the flow of moving vehicles, in particular, using the YOLOv5 and DeepSORT algorithms to perform this process. It explains how much accuracy increases when these algorithms are used in situations. Experiments using the algorithms used showed an accuracy of 94. One of the most important steps in the development of intelligent transport systems today is the classification of vehicles moving on the roads and counting their flow. The focus of this study is on counting the flow of traffic on the roads. detects that the vehicle has passed. In addition, this study focuses on the process and mathematical aspects of the YOLOv5 and DeepSORT algorithms, with examples. In particular, attention is paid to the Mahalanobis distance and the Kalman filter, which are the main components of the DeepSORT algorithm, and their role in the DeepSORT algorithm is revealed. Experiments based on video images taken from a CCTV device using these algorithms are presented in the article. The main part of the results of the experiments is presented in the article as an example.

INTRODUCTION

Nowadays, in the period of rapid development, the transport system has become an important part of human life. Just one example of this is the following statistic: by the end of the first quarter of 2022, it is known that there will be approximately 1.45 billion cars in the world, of which about 1.1 billion will be passenger cars. This means that there is a car for every 7.18 people on our planet, it should be noted that at the time of writing this article, the population of the planet earth exceeds 7.9 billion [1, 9].

Based on the information mentioned above, it can be said that this will definitely cause traffic problems in big cities. In this research work, the analysis of the algorithms used in the program that performs one of the main roles for the system helping to solve this traffic problem, that is, counting the flow of motor vehicles on the road and identifying the moving motor vehicles, was carried out. In particular, YOLOv5 and DeepSORT algorithms are used and the working process of these algorithms is explained.

I. APPLICATION OF YOLOV5 AND DEEPSORT ALGORITHMS IN THE CALCULATION OF TRAFFIC FLOW

YOLOv5 algorithm. Nowadays, object detection is one of the most important aspects of computer vision. Object detection is a computer vision technology that localizes and identifies objects in an image.

Due to the versatility of object detection, object detection has emerged as the most widely used computer vision technology in the last few years [8]. Let's talk briefly about how object detection works in general. In the field of computer vision, object detection is often referred to as image detec-

tion, and these concepts are generally considered synonymous terms. Object detection is not similar to other common computer vision technologies, such as classification, keypoint detection, or semantic segmentation, that is, image segmentation using masks. This is one of the most comprehensive areas of computer vision.

This is where object detection models come into play and achieve object detection by predicting the X1, X2, Y1, Y2 coordinates and object class labels depending on the target. Using object detection simply involves inputting an image (or video frame) into the object detection model and outputting a file in the form of a JSON file with estimated coordinates and class labels [8].

The YOLO (You Only Look Once) algorithm is a modern, real-time, very effective object detector, and there are a number of algorithms included in this group of algorithms (YOLOv1, YOLOv2, YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5). The algorithm used to obtain the results in this article is the YOLOv5 algorithm.

It can be observed that the YOLOv5 algorithm is based on YOLOv1-YOLOv4. Continuous updating of this algorithm allowed to achieve high results in two official databases of object detection, i.e. Pascal VOC (visual object classes) and Microsoft COCO (common objects in context). in the database [5,6]. The network architecture of YOLOv5 is shown in Figure 1.

There are several other reasons why YOLOv5 was chosen for this research work. First, YOLOv5 introduced a cross stage partial network (CSPNet) into the Darknet and created CSPDarknet as its foundation [12]. Here Darknet is a CNN (Convolutional Neural Network), i.e. a convolutional (sliding) neural network used in the YOLO algorithm. CSPNet solves the problem of repeated gradient data on large-scale networks and integrates gradient

transformations into a feature map, thereby reducing model parameters and FLOPS (floating-point operations per second), which not only improves inference speed and accuracy. provides, but also reduces the size of the model. Detection speed and accuracy are very important in the task of traffic flow detection on roads, and the compact size of the model also determines its inference efficiency in resource-poor peripheral devices.

Second, YOLOv5 used a path aggregation network (PANet) to enhance information flow [7]. PANet adopts a new feature pyramid network (FPN) structure with an improved bottom-up path that improves the propagation of low-level features.

Third, the YOLOv5 head, the YOLO layer, generates feature maps of 3 different sizes (18×18 , 36×36 , 72×72) to achieve multiscale prediction, which allows the model to handle small, medium, and large object sizes [4].

Here:

- Cross Stage Partial Network (CSP) - cross stage partial network;
- Spatial Pyramid Pooling (SPP) - spatial pyramid pooling;
- Convolution Layer (Conv) - convolution (sliding) layer;
- Concatenate Function (Concat) - function of combining.

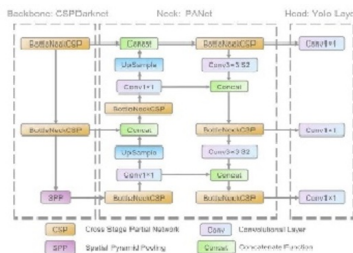


Figure 1 – Yolov5 network architecture

DEEPSORT ALGORITHM WORKFLOW

Taking into account what Kalman filter and Mahalanobis distance are given above, we will try to explain the working process of DeepSORT algorithm. DeepSORT technology combines these two concepts to transfer information from one frame to another and adds a new metric called appearance. In the first step, the position, size, and class of a single bounding box are determined using object detection. Then, in principle, the Hungarian algorithm (Hungersky algorithm) can be applied to associate previously known objects with object identifiers previously in the frame and observed using Kalman filters. As a result, everything works perfectly as in the original SORT.

II. CONDUCTED EXPERIMENTS AND OBTAINED RESULTS

Below, using YOLOv5 and DeepSORT algorithms mentioned above, the movement of cars on the roads was determined and exactly how many

and what type of vehicles passed through a certain part of the road during the specified time. and good results were recorded. Based on the obtained results, the stages of the algorithm execution are presented as examples in the form of an image clipped from the video:

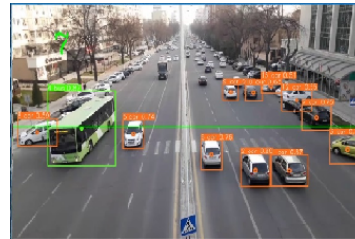


Figure 2 – Samples of the results obtained on the basis of the experiment

CONCLUSION

This article describes the process of identifying vehicles moving on the road using the YOLOv5 and DeepSORT algorithms, as well as the algorithm for tracking and counting their movements. Experimental results based on video images obtained from a CCTV device installed in a designated area have shown that this algorithm performs very well in real time. In particular, DeepSORT's ability to remember an object by its appearance and track it through these features is a very effective method, as this was not available using the SORT algorithm itself until now. The proposed algorithm can be considered as an effective method for the algorithm because it consumes less resources in the calculation process and there is no need to train the model.

III. REFERENCES

1. Kuchkarov T. A., Xamzayev J. F., Ochilov T. D. Intelektual transport tizimi ilovalari uchun sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish // Berdaq nomidagi QDU Axborotnomasi, no. 2 (51) 2021, 114–120 b.
2. Zhang L., Li Y. and Nevatia R. Global data association for multi-object tracking using network flows // in CVPR, 2008, pp. 1–8.
3. Berclaz J., Fleuret F., Turetken E. and Fua P. Multi-ple object tracking using k -shortest paths optimization // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 33, no. 9, pp. 1806–1819, 2011
4. Yang B. and Nevatia R. An online learned CRF model for multi-target tracking // in CVPR, 2012, pp. 2034–2041.
5. Yang B. and Nevatia R. Multi-target tracking by online learning of non-linear motion patterns and robust appearance models // in CVPR, 2012, pp. 1918–1925.
6. Andriyenko A. , Schindler K. and Roth S. Discrete-continuous optimization for multi-target tracking // in CVPR, 2012, pp. 1926–1933.
7. Solawetz J. How to Train YOLOv5 On a Custom Dataset. // <https://blog.roboflow.com/author/jacob/>
8. Ishmuratov T. Kak rabotaet Object Tracking na YOLO i DeepSort // <https://habr.com/ru/post/514450/>
9. Lin T. Y., Maire M., Belongie S. Hays J., Perona P., Ramanan D., Dollár P., Zitnick C. L. Microsoft coco: Common objects in context. // In Proceedings of the 13th European Conferens.

МЕТОДЫ СООТВЕТСТВИЯ ВЕРСИЙ И КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Марко А. Ф.

Кафедра высшей математики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: mmts@bsuir.by

В работе рассматриваются методы соответствия версий и контроля целостности программного обеспечения, предназначенного для управления системами перемещений в режиме реального времени с использованием технологии EtherCAT.

Проведённый анализ современных программно-аппаратных средств показал, что наиболее эффективной технологией для реализации управления системами многокоординатных перемещений в режиме реального времени является технология EtherCAT, внедрение которой требует разработки дополнительных программных приложений.

На сегодняшний день разработка программного обеспечения не обходится без применения специальных инструментов, которые повышают эффективность разработки за счёт снижения трудоёмкости выполняемых операций. К таким инструментам относятся различные среды разработки программного обеспечения и системы контроля версий. В данных инструментах разработки существует проблема отсутствия универсального решения для версионирования dll-библиотек и исполняемых exe-файлов программного обеспечения для установления связи между данными файлами и их исходным кодом. Также в литературе недостаточно хорошо проработан вопрос контроля целостности программного обеспечения, в частности объектов базы данных [1].

Обеспечение обновления версий dll-библиотекам и исполняемым exe-файлам программного обеспечения для управления систем перемещений по технологии EtherCAT при внесении изменений в их исходный код, а также осуществление контроля целостности объектов данного программного обеспечения в процессе эксплуатации позволит: сократить временные затраты на ручное версионирование, исключить необходимость регрессионного тестирования, оценить значимость выполненных изменений, детектировать изменения в программном обеспечении и тем самым уменьшить вероятность его использования с незапланированными изменениями. Это важно для систем управления различного назначения и особенно систем

управления транспортным оборудованием и мобильными системами различного уровня автоматизации [2].

Предложенный метод соответствия версий позволяет решить задачу обновления версий сборок с расширениями dll и exe при изменении их исходного кода, который компилируется в данные сборки при помощи среды разработки Visual Studio (VS). Метод соответствия версий реализован в виде расширения для среды разработки VS, которая в свою очередь может взаимодействовать как с централизованной системой управления версиями Team Foundation Server (TFS), так и с децентрализованной системой git. Разработанный с применением технологии WPF (Windows Presentation Foundation) интерфейс пользователя расширения интегрирован в среду VS, что позволяет осуществлять версионирование и разработку программного обеспечения в одном приложении. Данное расширение определяет какие проекты версионизируемого программного обеспечения подверглись изменениям по отношению к последней версии в системе TFS или git и изменяет их версии перед сохранением.

Версия каждого проекта хранится в специальном файле AssemblyInfo и изменяется, данная версия отображается в свойствах исполняемых exe-файлов и dll-библиотек, которые соответствуют проектам и формируются в результате их сборки. Для получения или изменения версии в расширении используются регулярные выражения [3].

Новая версия для изменённого проекта формируется следующим образом: старшие разряды берутся из версии основного проекта родительского решения, которое определяется с помощью структурного анализа файла проекта, в качестве младшего разряда версии выступает инкрементированный номер последнего сохранения в системе TFS или git. На рис. 1 представлены выделяемые типы проектов.

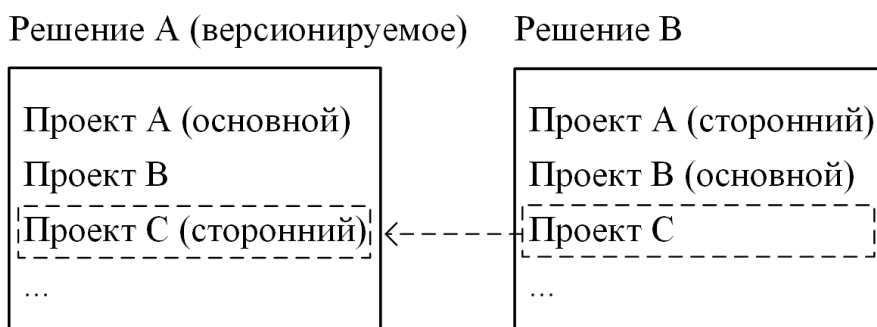


Рис. 1 – Выделяемые типы проектов и их зависимости

Старшие разряды обновляются только при сборке релиза программного обеспечения и только в случае внесения существенных изменений.

Предложенный метод контроля целостности позволяет формировать и сравнивать контрольные суммы с использованием функции MD5 в процессе эксплуатации. Данный метод встроен в программное обеспечение системы управления и предназначен для определения незапланированных изменений данных.

Программная часть системы состоит из множества различных объектов, таких как исполняемые файлы, файлы данных и объекты баз данных. Формирование контрольных сумм выполняется для каждого типа по-разному. На рис. 2 приведены выделяемые типы и многоступенчатость процесса формирования контрольных сумм для каждого типа.

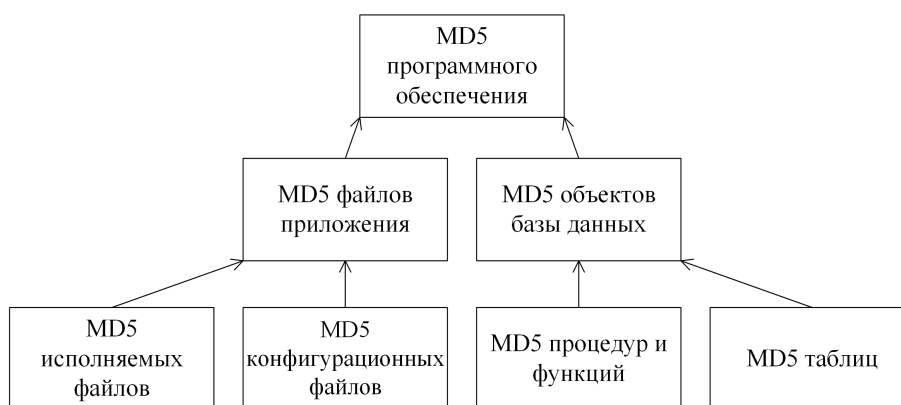


Рис. 2 – Выделяемые типы контрольных сумм и их зависимости

Основная цель многоступенчатого формирования контрольных сумм заключается в удобстве представления информации о состоянии каждой подгруппы и в повышении скорости нахождения изменённых файлов [3].

Таким образом был разработан метод обновления версий программного обеспечения, заключающийся в автоматизированном обновлении версий dll-библиотек и исполняемых ехе-файлов при внесении изменений в их исходный код, а также метод контроля целостности программного обеспечения, заключающийся в формировании эталонных контрольных сумм для объектов программирования и объектов баз данных, сравнении их с текущими контрольными суммами, и позволяющий детектировать любые изменения указанных объектов и тем самым уменьшить вероятность использования программного обеспечения с незапланированными изменениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпович, С.Е. Системы многокоординатных перемещений на механизмах параллельной кинематики : монография / С.Е. Карпович [и др.]; под ред. проф. С.Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2017. – 254 с.
2. Марко, А.Ф. Версионирование и контроль целостности программного обеспечения для управления системами перемещений в режиме реального времени / А.Ф. Марко // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2018» / редкол. : И. А. Старовойтова (пред.) [и др.]. – Минск : Изд. центр БГУ, 2019. – С. 191–195.
3. Марко, А. Ф. Контроль целостности и соответствия версий программного обеспечения для управления системами перемещений в режиме реального времени / А. Ф. Марко // Информационные системы и технологии = Informatic Systems and Technologies [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч. конгресса по информатике. В 3 ч. Ч. 1, Респ. Беларусь, Минск, 27–28 окт. 2022 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: С.В. Абламейко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2022. – С. 89–94.

ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ

Сайфиддинов С. Х.

Кафедра интеллектуальных информационных технологий, Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: s.x.sayfiddinov@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день исследования в сфере интеллектуальных информационных технологий стали актуальной тенденцией во всех сферах человеческой деятельности. Под информационными технологиями понимается совокупность методов, использующих информационные законы, модели и процессы для производства средств и методов работы с информацией. Одним из направлений развития искусственного интеллекта являются современные информационные технологии, к которым относятся: инженерия знаний, обработка нечеткой информации, нейросетевые технологии. Внедрение интеллектуальных информационных технологий в сферы образования является наиболее актуальной в связи с увеличением численности студентов повышается количество процессов, связанных с образовательной деятельностью.

I. ПРОБЛЕМЫ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ [2]

1. Большинство образовательных программ предполагает однотипный подход к изучению гуманитарных, точных и естественных наук. Такой подход не дает возможности выбрать какой-либо профиль для освоения предмета, также не учитывается разный уровень подготовки учащихся, и предполагает большие временные затраты на дополнительные занятия, для повторения и закрепления уже пройденного материала.

2. Большой упор на показатели. Чем он выше, тем у образовательной организации больше предпочтений. Рейтинг складывается из многих показателей, в частности «среднего балла» учащихся и результатов итоговой аттестации. Зачастую оценки не коррелируют с реальными знаниями.

3. Плохая подготовка учителей, которая проявляется как у молодых, так и у опытных педагогов. Для того, чтобы получать достойную зарплату, приходится брать больше часов, классное руководство и репетиторство. При большой загруженности у учителей не всегда есть достаточно времени, чтобы подготовиться к занятиям. А у молодых специалистов не достаточно опыта, чтобы с этим справляться в принципе.

4. Подготовка к основным экзаменам (Централизованный экзамен) идет вразрез с повседневной учебной, для сдачи которых не всегда требуется разбираться в предмете, а главное правильно интерпретировать само задание. Основная проблема обучения в школе состоит в том, что на уроках этому не учат.

II. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ

Потенциал применения ИИ в образовании:

- Персонализация. Системы искусственного интеллекта легко адаптируются к индивидуальным потребностям каждого учащегося в обучении и могут ориентировать обучение с учетом его "сильных и слабых сторон";
- Оценка знаний. Системы (ИИ) могут «оценивать стиль обучения учащегося и уже существующие знания, чтобы предоставлять индивидуальную поддержку и обучение»;
- Успеваемость. Системы ИИ могут помогать не только в оценке знаний и умений на экзамене, но и также может «собирать данные об успеваемости учащихся»;

Существует потенциал в создании базы знаний в рамках институтов и колледжей одного направления, а также его применения в дальнейшем в различных направлениях, таких как:

1. Сочетание машинного обучения и обработки естественного языка;
2. Экспертные системы;
3. Прогностические системы.

Несколько экспертов, таких как Нил Хеффернан из Вустерского политехнического института, ищут способы автоматического создания новых высококачественных тестовых заданий на основе совокупности знаний [3]. В некоторых случаях эксперты считают, что скоро машины смогут генерировать оценочные вопросы, адаптированные к интересам учащегося. Для учащегося, который любит бейсбол и изучает концепцию 5 плюс 3, машины могут сгенерировать задачу о бейсболе (например, «Отбивающий забил пять лайндрайвов и три хоумрана. Сколько всего у него было попаданий?»).

Обработка естественного языка не «понимает» язык в каком-либо техническом смысле, ее можно использовать для оценки качества эссе

способами, которые делают оценку более объективной.

Использование рекомендательных систем [6] - это возможность порекомендовать учащимся практический или теоретический материал после оценки его знаний. Например, рекомендательная система наметит конкретный путь обучения, который студент должен пройти после оценки.

Использование прогностических систем (систем раннего предупреждения) помогает отслеживать учащихся, которым в процессе обучения грозит низкая успеваемость.

III. ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Любая интеллектуальная информационная система должна уметь общаться с пользователем (в нашем случае учащимся) на понятном для него языке. Для реализации вопросно-ответной системы было проанализировано несколько работ. Например, в одной из работ нейросеть генерирует запросы к Графовой базе данных на языке LISP на основании вопросов, задаваемых пользователями. Т.е. нейросеть не напрямую обращается к данным, а создает небольшую программу, выполнение которой приводит к получению нужного ответа из графовой базы данных Neo4j.

Графовое представление знаний в качестве внешней памяти для нейросети вообще является достаточно популярным решением, поскольку в него с одной стороны легче уложить разнородные знания о мире.

Для процесса диалога очень важен контекст беседы. При общении человека с интеллектуальной информационной системой контекст становится ещё важнее. На рисунке 2 представлена схема работы вопросно-ответной системы. На данной схеме представлен "анализатор который представляет собой большое хранилище информации, а также осуществляет её анализ. Для нейронной сети такая задача как хранение и анализ является достаточно сложной задачей. Явное представление краткосрочной внешней памяти является сейчас распространенным подходом в диалоговых системах на базе нейросети, и к то-

му же позволяет показывать содержимое рабочего контекста пользователю, что является достаточно важным.

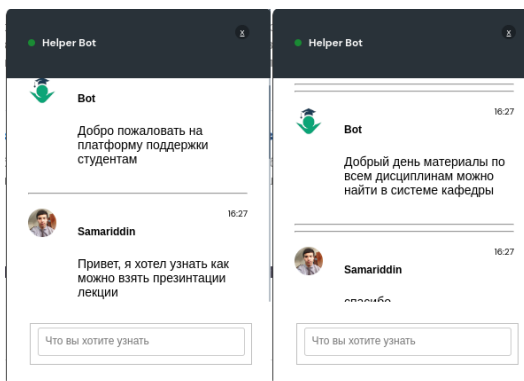


Рис. 1 – Диалог с учетом контекста

Заключение. Потенциал диалоговых систем на основе графовой базы данных Neo4j в части определения контекста слов, оказался весьма сложной в достижении задачей для простой модели. Исследованные способы представляют интерес для повышения качества диалоговых систем и в дальнейшем его применении в сфере образования.

1. Zhai, Xuesong & Chu, Xiaoyan & Chai, Ching & Jong, Morris & Istenic Starcic, Andreja & Spector, Jonathan & Liu, Jia-Bao & Yuan, Jing & Li, Yan. (2021). A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education from 2010 to 2020. Complexity, 2021, p. 1-18.
2. Towards Data Science. [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/> / Ferry Hoes. – декабрь 6, 2018. – Дата доступа: 09.10.2022.
3. Доница И. А., Воднева С. Н., Михайлова М. Н. Искусственный интеллект в современном образовании: возможности и угрозы // Психолого-педагогический поиск. Научно-методический журнал. - Рязань, 2021. - 1(57). - с. 17-29
4. Джонс М. Т. Принципы работы рекомендательных механизмов Интернета. [Электронный ресурс]. IBM developerWorks, 2014. URL: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/os-recommender1/>.
5. Мойсюк-Дранько, П. А. Методы матричной факторизации для систем рекомендации / Мойсюк-Дранько П. А., Ревотюк М. П. // Информационные технологии и системы 2020 (ИТС 2020) = Information Technologies and Systems 2020 (ITS 2020) : материалы международной научной конференции, Минск, 18 ноября 2020 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2020. – С. 193-194.

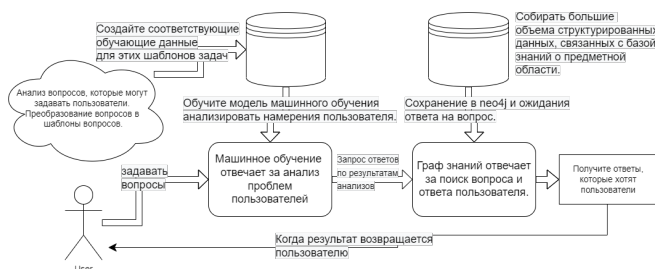


Рис. 2 – Схема работы системы вопрос-ответ

МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЦИФРОВЫХ ПОЛЕЙ

Таранчук В. Б., Ходос Ю. О.

Кафедра компьютерных технологий и систем, Факультет прикладной математики и информатики,
Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь
E-mail: taranchuk@bsu.by, fpm.hodos@bsu.by

Обсуждаются методические и алгоритмические вопросы разработки специализированных программных модулей аппроксимации системы ГеоБазаДанных для адекватного формирования разработчиками и экспертами цифровых полей параметров компьютерных моделей. Отмечены новые функциональные возможности, обеспеченные включением в ГБД реализующих методы кластерного анализа данных исполняемых модулей системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica.

ВВЕДЕНИЕ

При компьютерном моделировании программный инструментарий для цифрового описания распределений изучаемых параметров должен обеспечивать сбор и обработку данных наблюдений, оценок и прогнозов изменений состояния объекта и среды окружения, ответных реакций на воздействия, поступление в среду веществ, энергий. Многие исследователи подчеркивают, что целью разработки компьютерных экспертных систем должны быть не только программы расчетов для простой констатации фактов. Соответствующие системы (комплексы, пакеты программ) должны включать инструментарий для выполнения экспертных оценок и моделирования как основы прогноза состояния объектов, среды, средства и инструменты для оценок точности принимаемых интерпретаций, моделей. В силу этого эффективная система подготовки данных для компьютерных моделей невозможна без следующего: обоснованной схемы размещения точек контроля, фиксированных или перемещающихся пунктов наблюдений, которые обеспечены необходимыми техническими средствами для замеров, визуальных наблюдений и накопления данных; сформированных и постоянно дополняемых баз атрибутивных и пространственных данных, географических информационных систем (ГИС), обеспечивающих систематизацию, хранение, анализ результатов наблюдений и измерений, визуализацию этих результатов; цифровых (математических, численных) моделей, работающих с информационной основой, обеспечивающих планирование наблюдений и экспериментов, построение и оценку прогнозных сценариев, поддержку принятия управленческих решений.

I. ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ ГЕОБАЗАДААННЫХ

При проектировании и реализации ГеоБазаДанных (ГБД) в качестве определяющих были приняты требования, чтобы создаваемая компьютерная система, обеспечивала сбор, хране-

ние, обработку и визуализацию любых видов географически привязанной, пространственно-координированной информации [1]. Разрабатываемая система должна быть основой, сервисом автоматизированного рабочего места специалиста для решения типовых задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением; инструменты, программные модули должны обеспечивать возможность оперировать с атрибутивной (описывающей свойства объекта) и пространственной (описывающей местоположение объекта) информацией. В системе следует предусмотреть возможности хранения пространственной информации в векторном и/или в растровом представлении; возможности организации графической информации в виде тематических слоев, соответствующих либо ее конкретному содержанию, либо решаемым задачам, когда наложение разных слоев позволит формировать тематические карты.

В настоящее время разработаны и применяются большое количество разнообразных как инструментальных ГИС, так и систем, адаптированных для решения задач в конкретных отраслях. ГеоБазаДанных – программная платформа, интерактивная компьютерная система, объединяющая комплекс интеллектуальных вычислительных подсистем, математического, алгоритмического и программного обеспечения. ГБД предназначена и используется (более 20 лет) для наполнения, сопровождения и визуализации различных баз данных, в том числе: геометрических, геофизических, техногенных, геолого-экологических параметров геологических объектов, экосистем; характеристик тепло-, влаго-, массопереноса в породах, грунтах и атмосфере; цифровых и регламентных описаний источников и видов воздействия на природную среду; входных данных для имитационных и математических моделей.

Инструментарий ГБД позволяет выполнять предобработку и визуализацию исходных данных, характеризующих физико-географические

и гидрографические особенности исследуемой территории. Средствами системы можно формировать и визуализировать цифровые описания пространственных распределений данных об источниках загрязнения, о геологическом строении изучаемых объектов; графически иллюстрировать решения задач, описывающих динамические процессы миграции флюидов, переноса тепла, влаги, минеральных водорастворимых соединений в толщах пород; конструировать и реализовывать интерактивные сценарии визуализации и обработки результатов вычислительных экспериментов. Специализированные подсистемы ГБД позволяют рассчитывать и выполнять в разных приближениях экспертные оценки локальных и интегральных характеристик экосистем, выполнять расчет распределений концентраций и массовых балансов загрязняющих веществ; формировать и выводить на твердые копии тематические карты.

II. КОНЦЕПЦИЯ, ОСНОВЫ ГБД, ДОПОЛНЕННАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОСТЬ

Ядром и теоретической основой для построения цифровых моделей эко- и геосистем в концепции, реализованной в системе ГБД, является цифровое описание распределения изучаемого параметра на выбранном пространственном слое. Таковым параметром может быть, например, концентрация загрязняющего вещества в приповерхностном слое почвы, уровень дефолиации деревьев лесного массива на конкретном участке, насыщенность нефтью пропластка или пласта, значение абсолютной отметки уровня ограничивающей пласт (слой почвы, территории) поверхности. Считается, что исходными данными при этом являются *цифровые значения наблюдаемого параметра в точках с известными геометрическими координатами*, причем исходные точки могут быть размещены на площади в плане нерегулярно (например, данные наблюдений неравномерно расположенной сети станций), а в цифровом описании ГБД – на равномерной прямоугольной сетке (также употребляют названия – правильной, регулярной). Подобные цифровые поля системы – не что иное, как сеточные функции, а с ними можно работать средствами численного анализа. В частности, определять экстремумы, дифференцировать, интегрировать, выполнять арифметические действия с несколькими полями, анализировать корреляцию. Подобные цифровые поля визуализируются в режимах одномерной, двумерной и трехмерной графики. Другими словами основной задачей моделирования в системе ГБД является получение адекватного цифрового описания каждого параметра на слоях.

Как создавать, адаптировать цифровые модели, используя инструментарий системы ГБД, описано в [1]. Следует отметить отличительные особенности реализованных в ГеоБазаДанных алгоритмов аппроксимации, восстановления цифровых распределений, из которых важнейшими являются методы математического описания, названные в системе терминами: *Включение, Граница, Граничное значение, Зона относительной однородности, Краевые условия, Подобласть, Разрыв*. Перечисленное реализовано авторскими алгоритмами, запрограммировано в соответствующих модулях ГБД, и при проведении расчетов в системе выполняется интерактивно пользователем. Часто, так как спектр возможных действий очень широк, пользователю при подборе желаемого варианта, отвечающего запросам эксперта, приходилось сопоставлять большое число результатов вычислительных экспериментов. В текущей конфигурации ГБД добавлены модули реализации инструментов кластерного анализа [2], искусственных нейронных сетей [3], что существенно ускоряет выбор предпочтительных вариантов адаптации цифровых распределений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе будут обсуждены методические и алгоритмические решения выбора предпочтительного варианта адаптации цифровых полей, отвечающих априорным требованиям экспертов. Специальными расчетами иллюстрируются особенности результатов, получаемых в вариантах настройки искусственной нейронной сети при использовании методов ADAM, RMSProp. В сериях результатов, когда применяются инструменты кластерного анализа, подготовлены и будут интерпретированы решения, полученные разными методами кластеризации, в частности, когда используется функция FindClusters с критериями CriterionFunction и нормами вычисляемыми по метрикам DistanceFunction, EuclideanDistance, Manhattan Distance, Chessboard Distance, Bray Curtis Distance.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таранчук, В. Б. Компьютерные модели подземной гидродинамики / В. Б. Таранчук // Минск : БГУ, 2020. – 235 с.
2. Taranchuk, V. Methodological and Technical Solutions for the Implementation of Clustering Algorithms in the GeoBazaDannych System / V. B. Taranchuk // Communications in Computer and Information Science book series (CCIS. Springer, Cham. International Conference on Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. OSTIS 2021). – 1625. – 2022. – P. 349–360.
3. Таранчук, В. Б. Средства и примеры интеллектуальной обработки данных для геологических моделей / В. Б. Таранчук // Проблемы физики, математики и техники. –2019. –№ 3 (40). –С. 117–122.

Секция «Проектирование
встраиваемых систем»

Section «Embedded systems design»

СИНТЕЗ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ НА ОСНОВЕ МИНИМИЗАЦИИ ДИЗЪЮНКТИВНЫХ НОРМАЛЬНЫХ ФОРМ КОНЕЧНЫХ ПРЕДИКАТОВ

Бибило П. Н., Романов В. И.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

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

Предлагается проводить минимизацию в классе ДНФ конечных предикатов для оптимизации функциональных описаний блоков комбинационной логики, реализуемых в составе заказных цифровых СБИС.

ВВЕДЕНИЕ

Таблица 1 – Умножитель по модулю 5

Исходными функциональными описаниями комбинационной логики обычно являются те или иные формы задания систем полностью либо не полностью определенных (частичных) булевых функций. Однако для арифметических устройств и устройств модулярной арифметики [1] функции проектируемых комбинационных схем могут представляться в виде системы полностью определенных либо частичных конечных предикатов – двоичных (0,1) функций конечных аргументов, представляемых целыми неотрицательными числами.

I. ПРИМЕР МИНИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНЕЧНЫХ ПРЕДИКАТОВ

Рассмотрим множитель чисел по модулю 5. Умножение по модулю p_i (основание модулярной вычислительной системы) для двух неотрицательных чисел (операндов) a, b , находящихся в диапазоне $\{0, 1, \dots, p_i - 1\}$ выполняется согласно формуле

$$|a \times b|_{p_i} = (a \times b) - \left\lfloor \frac{a \times b}{p_i} \right\rfloor,$$

где через $[k]$ обозначена целая часть числа, т.е. ближайшее целое, меньшее либо равное k . В случае, если $(a \times b) < p_i$, то $|a \times b|_{p_i} = a \times b$. Число N двоичных разрядов, представляющих числа a, b определяется по формуле $N = \lceil \log_2 a \rceil$, где через $\lceil A \rceil$ обозначается ближайшее целое, большее либо равное A . Аналогично, число M двоичных разрядов, представляющих числа $\{0, 1, \dots, p_i - 1\}$ определяется по формуле $M = \lceil \log_2 p_i \rceil$. В табл. 1 представлена система трех частичных конечных предикатов $y_0(a, b), y_1(a, b), y_2(a, b)$, задающая множитель по модулю 5 ($p_i=5$), числа (аргументы, переменные) a, b принимают значения из диапазона 0, 1, 2, 3, 4. Неопределенные значения предикатов y_0, y_1, y_2 обозначены символом «—». Запись $a^{\{i\}}b^{\{j\}}$ означает, что входная переменная a принимает значение i , входная переменная b – значение j . При программной реализации используется унарное кодирование значений аргументов предикатов.

Аргументы предикатов		Задание векторами		Значения предикатов
a	b	a	b	$y_0 y_1 y_2$
$a^{\{0\}}$	$b^{\{0\}}$	10000000	10000000	0 0 0
$a^{\{0\}}$	$b^{\{1\}}$	10000000	01000000	0 0 0
$a^{\{0\}}$	$b^{\{2\}}$	10000000	00100000	0 0 0
$a^{\{0\}}$	$b^{\{3\}}$	10000000	00010000	0 0 0
$a^{\{0\}}$	$b^{\{4\}}$	10000000	00001000	0 0 0
$a^{\{1\}}$	$b^{\{0\}}$	01000000	10000000	0 0 0
$a^{\{1\}}$	$b^{\{1\}}$	01000000	01000000	0 0 1
$a^{\{1\}}$	$b^{\{2\}}$	01000000	00100000	0 1 0
$a^{\{1\}}$	$b^{\{3\}}$	01000000	00010000	0 1 1
$a^{\{1\}}$	$b^{\{4\}}$	01000000	00001000	1 0 0
$a^{\{2\}}$	$b^{\{0\}}$	00100000	10000000	0 0 0
$a^{\{2\}}$	$b^{\{1\}}$	00100000	01000000	0 1 0
$a^{\{2\}}$	$b^{\{2\}}$	00100000	00100000	1 0 0
$a^{\{2\}}$	$b^{\{3\}}$	00100000	00010000	0 0 1
$a^{\{2\}}$	$b^{\{4\}}$	00100000	00001000	0 1 1
$a^{\{3\}}$	$b^{\{0\}}$	00010000	10000000	0 0 0
$a^{\{3\}}$	$b^{\{1\}}$	00010000	01000000	0 1 1
$a^{\{3\}}$	$b^{\{2\}}$	00010000	00100000	0 0 1
$a^{\{3\}}$	$b^{\{3\}}$	00010000	00010000	1 0 0
$a^{\{3\}}$	$b^{\{4\}}$	00010000	00001000	0 1 0
$a^{\{4\}}$	$b^{\{0\}}$	00010000	10000000	0 0 0
$a^{\{4\}}$	$b^{\{1\}}$	00010000	01000000	1 0 0
$a^{\{4\}}$	$b^{\{2\}}$	00010000	00100000	0 1 1
$a^{\{4\}}$	$b^{\{3\}}$	00010000	00010000	0 1 0
$a^{\{4\}}$	$b^{\{4\}}$	00010000	00001000	0 0 1
$a^{\{0\}}$	$b^{\{5\}}$	10000000	00000100	— — —
...	— — —
$a^{\{7\}}$	$b^{\{7\}}$	00000001	00000001	— — —

Проведем минимизацию в классе ДНФ частичных предикатов, заданных в табл. 1, получим следующие ДНФ:

$$y_0 = a^{\{1\}}b^{\{4,5,6,7\}} \vee a^{\{2\}}b^{\{2,5,6,7\}} \vee a^{\{3\}}b^{\{3,5,6,7\}} \vee a^{\{4\}}b^{\{1,5,6,7\}}; y_1 = a^{\{2,3\}}b^{\{4,5,6,7\}} \vee a^{\{1,4\}}b^{\{2,3,5,6,7\}}; y_2 = a^{\{1\}}b^{\{1,3,5,6,7\}} \vee a^{\{1,2,5,6,7\}}b^{\{3\}} \vee a^{\{2\}}b^{\{3,4,5,6,7\}} \vee a^{\{3\}}b^{\{1,2,5,6,7\}} \vee a^{\{4\}}b^{\{2,4,5,6,7\}} \vee a^{\{2,4,5,6,7\}}b^{\{4\}}.$$

Заметим, что элементарная конъюнкция $a^{\{1\}}b^{\{4,5,6,7\}}$ получается склеиванием соседних элементарных конъюнкций:

$$a^{\{1\}}b^{\{4\}} \vee a^{\{1\}}b^{\{5\}} \vee a^{\{1\}}b^{\{6\}} \vee a^{\{1\}}b^{\{7\}} = a^{\{1\}}b^{\{4,5,6,7\}}.$$

II. СХЕМНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МИНИМИЗИРОВАННЫХ ДНФ КОНЕЧНЫХ ПРЕДИКАТОВ

Схемная реализация минимизированных ДНФ конечных предикатов на программируемой логической матрице (ПЛМ) с дешифраторами ДС (с инверсными выходами) показана на рис. 1. ПЛМ содержит 12 промежуточных шин, на каждой из которых реализуется одна элементарная конъюнкция минимизированных ДНФ трех конечных предикатов. Подробное изложение перехода от ДНФ конечных предикатов к ПЛМ с многоходовыми дешифраторами рассмотрено в [2, с. 66]. Заметим, что минимизация частичных булевых функций в классе ДНФ дает 15 промежуточных шин «классической» ПЛМ с одновходовыми дешифраторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для отдельной минимизации ДНФ конечных предикатов разработана программа, реализующая метод, аналогичный методу Квайна [3] минимизации ДНФ частичных булевых функций. Проведение вычислений в этой программе

основывается на использовании секционированных булевых векторов и матриц.

Предлагаемый подход, использующий минимизацию конечных предикатов в классе ДНФ, наряду с методами логической оптимизации систем булевых функций может быть использован при минимизации функциональных описаний блоков комбинационной логики заказных цифровых СБИС. Разработанная программа минимизации конечных предикатов может использоваться не только при схемной реализации блоков комбинационной логики СБИС, но и в экспертных системах [4] при решении задач распознавания объектов в пространстве конечномерных признаков.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Червяков, Н. И. Модулярные параллельные вычислительные структуры нейропроцессорных систем / Н. И. Червяков, П. А. Сахнюк, А. В. Шапошников, С. А. Ряднов. – М.: Физматлит, 2003. – 288 с.
2. Бибило, П. Н. Синтез комбинационных ПЛМ-структур для СБИС / П. Н. Бибило. – Минск: Наука и техника. – 1992. – 232 с.
3. Закревский, А. Д. Логические основы проектирования дискретных устройств / А. Д. Закревский, Ю. В. Поттосин, Л. Д. Черемисинова. – М.: Физматлит, 2007. – 592 с.
4. Закревский, А. Д. ЭКСИЛОР – экспертная система логического распознавания / А. Д. Закревский // Управляющие системы и машины. – 1992. – № 5/6. – С. 118–124.

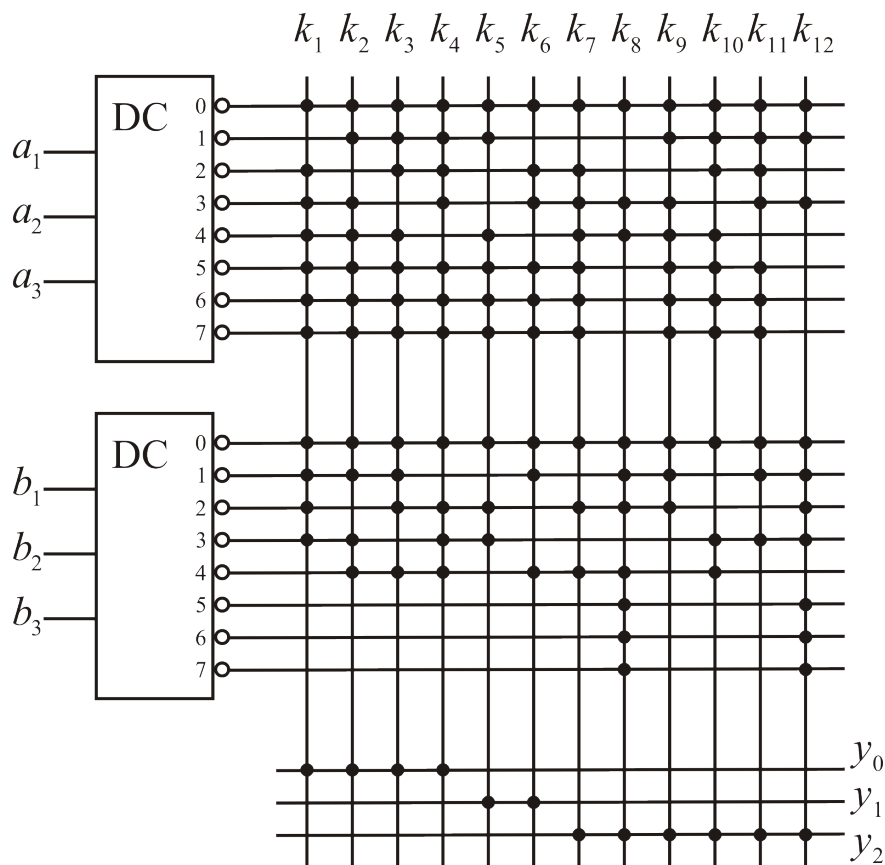


Рис. 1 – ПЛМ с дешифраторами – схемная реализация умножителя по модулю 5

УМНОЖИТЕЛЬ КВАТЕРНИОНОВ НА ОСНОВЕ БЛОЧНО-ЛЕСТНИЧНОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА CORDIC-II

Бурак А. А., Петровский Н. А.

Кафедра электронных вычислительных средств,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: anton.burak19@gmail.com, nick.petrovsky@bsuir.by

В докладе представлен подход для проектирования обратимого целочисленного множителя кватернионов на кватернион-константу в арифметике с фиксированной точкой, основанный на блочно-лестничной структурной параметризации матрицы $\mathbf{M}^\pm(\cdot)$. Лестничные шаги блочной-лестничной структуры выполнены на основе аппроксимации матрицы вращения Гивенса, реализованной с использованием модифицированного CORDIC-алгоритма известного в литературе как CORDIC-II. Предложенная схема множителя может использоваться в системах L2L на основе параунитарного банка фильтров в алгебре кватернионов (Q-ПУБФ). Приведены аппаратные затраты для ПЛИС серии Xilinx Zynq-7000.

ВВЕДЕНИЕ

Алгебра кватернионов \mathbb{H} [1] является ассоциативной некоммутативной четырёхмерной алгеброй $\mathbb{H} = \{\mathbf{q} = q_1 \cdot \mathbf{1} + q_2 \cdot \mathbf{i} + q_3 \cdot \mathbf{j} + q_4 \cdot \mathbf{k}\}$, где ортогональные мнимые части определены следующими блочно-диагональными матрицами четвертого порядка $\mathbf{1} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix}$, $\mathbf{i} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ -\mathbf{I} & \mathbf{0} \end{bmatrix}$, $\mathbf{j} = \begin{bmatrix} \mathbf{E} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -\mathbf{E} \end{bmatrix}$, $\mathbf{k} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{E} \\ \mathbf{E} & \mathbf{0} \end{bmatrix}$, где $\mathbf{I}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ и $\mathbf{E} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$ удовлетворяют условию $\mathbf{E}^2 = -\mathbf{I}_2$. Сопряженный кватернион определяется по аналогии с комплексными числами $\bar{q} = q_1 \cdot \mathbf{1} - q_2 \cdot \mathbf{i} - q_3 \cdot \mathbf{j} - q_4 \cdot \mathbf{k}$, таким образом в матричном виде гиперкомплексное сопряжение будет следующее: $\bar{q} = \mathbf{D}_c \cdot q$, где $\mathbf{D}_c = \text{diag}(1, -\mathbf{I}_3)$.

Единичный кватернион $|q| = 1$ в матричном виде \mathbf{q} , а кватернион $p = [p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4]^T$ в виде вектора столбца, обозначим матрицу оператора «правого» умножения кватернионов $\mathbf{q} \cdot p = \mathbf{M}^-(q) \cdot p$, используя свойство кватернионов о гиперкомплексном сопряжении в матричном виде можно получить матрицу «левого» $qp = \mathbf{D}_c \mathbf{M}^-(q) \mathbf{D}_c \cdot p = \mathbf{M}^+(q) \cdot p$. Неизменность нормы строк и столбцов матрицы $\mathbf{M}^\pm(\cdot)$ позволяет строить обратимые преобразования в арифметике с фиксированной точкой¹.

I. ЛЕСТНИЧНАЯ ФАКТОРИЗАЦИЯ

Лестничная факторизация [2] является известным приемом разложения матрицы вращения Гивенса $\mathbf{R}(\theta)$ на обратимые шаги, таким что $Q(\mathbf{R}(\theta)) \times Q(\mathbf{R}(-\theta)) = \mathbf{I}_2$, где $Q(\cdot)$ – оператор квантования.

$$\mathbf{R}(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\cos \theta - 1}{\sin \theta} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \sin \theta & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\cos \theta - 1}{\sin \theta} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Обратимое преобразование с точки зрения алгебры кватернионов может быть описано сле-

дующим образом: $\mathbf{M}^\pm(q) \cdot \mathbf{M}^\pm(\bar{q}) = Q(\mathbf{M}^\pm(q)) \times Q(\mathbf{M}^\pm(\bar{q})) = \mathbf{I}_4$.

Матрица умножения кватернионов $\mathbf{M}^+(q)$ может быть представлена в виде следующей блочной структуры:

$$\mathbf{M}^+(q) = \begin{bmatrix} \mathbf{C}(q) & -\mathbf{S}(q) \\ \mathbf{S}(q) & \mathbf{C}(q) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{C}(q) = \begin{bmatrix} q_1 & -q_2 \\ q_2 & q_1 \end{bmatrix}, \mathbf{S}(q) = \begin{bmatrix} q_3 & q_4 \\ q_4 & -q_3 \end{bmatrix}.$$

Принимая во внимание стандартное лестничное разложение матрицы вращения (1), обобщив его до четырех мерного случая:

$$\mathbf{M}^+(q) = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_2 & \mathbf{F}(q) \\ 0 & \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_2 & 0 \\ \mathbf{G}(q) & \mathbf{I}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_2 & \mathbf{H}(q) \\ 0 & \mathbf{I}_2 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где выражения для $\mathbf{F}(q)$, $\mathbf{G}(q)$ и $\mathbf{H}(q)$ могут быть получены однозначно, при условии что обратная матрица $\mathbf{S}(q)^{-1}$ не нулевая: $\mathbf{F}(q) = (\mathbf{C}(q) - \mathbf{I}_2)\mathbf{S}(q)^{-1}$, $\mathbf{G}(q) = \mathbf{S}(q)$, $\mathbf{H}(q) = \mathbf{S}(q)^{-1}(\mathbf{C}(q) - \mathbf{I}_2)$. Блочная-лестничная факторизация для сопряженного кватерниона $\mathbf{M}^+(\bar{q})$ представляет собой обратный порядок лестничных шагов $\mathbf{F}(q)$, $\mathbf{G}(q)$ и $\mathbf{H}(q)$ с отрицательным знаком [3].

II. АЛГОРИТМ CORDIC-II

CORDIC-алгоритм может использоваться для вращения векторов на заданный угол θ . Его принцип работы основан на разбиении угла вращения на сумму углов, вращение на которые реализуется с использованием операций сложения и сдвига. В алгоритме CORDIC-II [4] предлагается использовать другой набор углов для поворота на требуемый угол, который позволяет ускорить сходимость алгоритма. Это приводит к уменьшению как задержки, так и количества сумматоров в аппаратной реализации.

¹Оператор умножения кватернионов позволяет получить разложение ортогональной матрицы 4×4 $\forall_{A \in SO(4)} \exists_{|p|=1, |q|=1} \mathbf{A} = \mathbf{M}^+(p) \cdot \mathbf{M}^-(q) = \mathbf{M}^-(q) \cdot \mathbf{M}^+(p)$, необходимое свойство для полифазной матрицы Q-ПУБФ.

Вращение на угол θ можно представить как умножение на комплексный коэффициент $P = C + jS$,

$$\begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C & -S \\ S & C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix},$$

где $x + jy$ входной вектор, а $X_D + jY_D$ — результат вращения, а C и S это целые числа, которые связаны с углом вращения как

$$\begin{aligned} C &= L(\cos \theta + \varepsilon_c), \\ S &= L(\sin \theta + \varepsilon_s), \end{aligned}$$

где ε_c и ε_s — ошибки квантования, L — масштабирующий коэффициент.

В алгоритме CORDIC-II (рисунок 2) применяются следующие углы вращения:

- тривиальные углы (*Trivial*)
 $P_0 = 1, P_1 = -1, P_2 = j, P_3 = -j$;
- дружественные углы (*Friend angles*), при вращении на которые масштабирование одинаково
 $P_0 = 24 + j7, P_1 = 20 + j15, P_2 = 25$;
- равномерно масштабирующие углы (*USR CORDIC*), при вращении на данные углы масштабирование почти одинаково
 $P_0 = 128 + j16, P_2 = 129$;
- углы вращения классического алгоритма CORDIC
 $P = 2^k + j, k = 5, 6, 7$;
- нано-вращения (*Nano-rotations*)
 $P = 1024 + jk, k = 0, \dots, 8$.

III. УМНОЖИТЕЛЬ КВАТЕРНИОНОВ

Реализация компонент $\mathbf{F}(q)$, $\mathbf{G}(q)$ и $\mathbf{H}(q)$ из уравнения (2) можно реализовать с помощью последовательного соединения блока CORDIC-II, блока масштабирования на основе представления CSD (Canonical Signed Digit) [5], блока перестановки компонентов результатов вращения X_D и Y_D (умножение на матрицу $\mathbf{J}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$). Архитектура умножителя на кватернион константу на базе блочно-лестничной факторизации с использованием алгоритма CORDIC-II представлена на рисунке 1. Операция округления не влияет на обратимость результата умножения при представлении выходных данных в формате $W + 3$.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Оценка производительности и потребляемых ресурсов проводилась в САПР Vivado 2021.2 для кристалла xc7z020c1g400-1

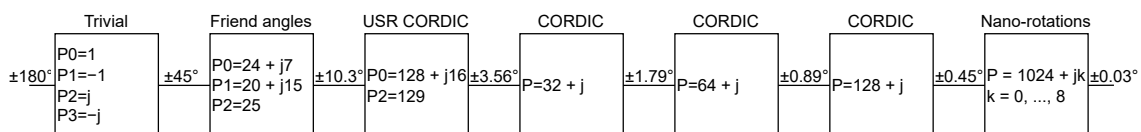


Рис. 2 – Архитектура алгоритма CORDIC-II

серии Xilinx Zynq со стандартными стратегиями синтеза, размещения и трассировки проекта. Аппаратные затраты и производительность умножителя кватернионов для $q = (4 - 1i + 3j - 2k) \times 30^{0.5}$ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Аппаратные затраты и производительность умножителя кватернионов

Ресурсы	Разрядность (W) [бит]			
	12	10	8	6
LUTs	1191	999	836	635
FF	1355	1028	903	597
LUTRAM	78	66	54	42
Латентность [Тактов]	39	36	37	33
Частота (f_{CLK}) [МГц]	215.05	219.78	243.24	248.49

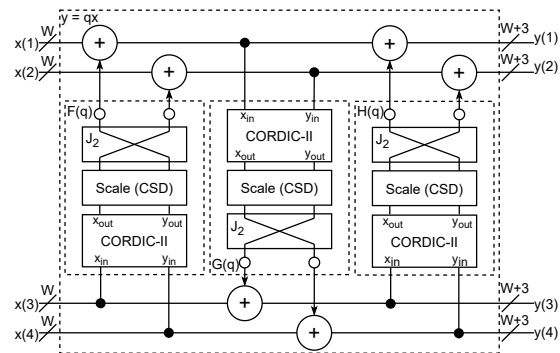


Рис. 1 – Архитектура умножителя на кватернион константу (операция округления обозначена \circ)

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение различных типов вращения в алгоритме CORDIC-II, позволяет обеспечить более высокую точность аппроксимации матрицы Гивенса для блочно-лестничных компонент $\mathbf{F}(q)$, $\mathbf{G}(q)$ и $\mathbf{H}(q)$, при сохранении свойства обратимости операции умножения кватернионов.

1. И. Л. Кантор А. С. Солодовников — Гиперкомплексные числа, М.: 1973.
2. Daubechies, I., Sweldens, W. Factoring wavelet transforms into lifting steps. The Journal of Fourier Analysis and Applications 4, 247–269 (1998).
3. Parfeniuk, M. Quaternion multiplier inspired by the lifting implementation of plane rotations / M. Parfeniuk, A. Petrovsky // *IEEE Trans. Circuits Syst. I.* – Oct. 2010. – Vol. 90, № 10. – P. 2708–2717.
4. Garrido, M. CORDIC II: A New Improved CORDIC Algorithm / M. Garrido, P. Källström, M. Kumm // *IEEE Trans. Circuits and Syst. II: Express Briefs* P. 186–190.
5. A. Avizienis, Signed-digit number representation for fast parallel arithmetic, IRE Tram. Electron. Comp., vol. EC- 10, P.289-400.

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО СИНТЕЗА АППАРАТНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ ПО ЗАДАННОМУ ПОЛИНОМУ

Бурко Л. А., Кайки М. Н., Иванюк А. А.

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

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

В данной работе рассматривается построение аппаратных ускорителей на основе графов вычислительных процессов. Разработано специализированное программное средство синтеза HDL-описаний аппаратных ускорителей с различными схемотехническими структурами.

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом количество вентилях на кристаллах микросхем непреодолимо растёт, что приводит к увеличению сложности цифровых схем (Систем на Кристалле, Сетей на Кристалле) и увеличению вероятности разработчиками совершать ошибки при проектировании данных структур [1]. Особую роль в современных цифровых устройствах играют аппаратные ускорители, призванные повышать общую производительность системы. Однако с увеличением сложности цифровых устройств возрастает и сложность аппаратных ускорителей, что приводит к большим трудозатратам на их проектирование и верификацию, а также увеличению вероятности появления ошибок в их работе.

I. ОПИСАНИЕ

Разработанное программное средство предназначено для построения аппаратных ускорителей исходя из алгоритма, заданного разработчиком. Помимо алгоритма разработчиком может быть задан набор доступных для использования операций (операционных устройств) со списком их приоритетов друг относительно друга и ограничением на количество применений каждого из них. Также разработчик может выбирать интерфейсы для связи ускорителя с HOST-контроллером или вносить в средство свои способы доступа. После завершения работы средства, разработчик получает набор файлов с HDL-описанием аппаратного ускорителя на выбранном языке описания аппаратуры и набор автоматически сгенерированной документации, содержащей в себе сведения о графе вычислительного процесса, настройках, ограничениях системы, латентности и пропускной способности.

II. ПОЛУЧЕНИЕ ГРАФА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для построения описания аппаратного ускорителя, предлагаемое средство оперирует графами вычислительного процесса [2], а также их параметрами. Так, для построения графа вычислительного процесса система считывает полином и заданные ограничения (`settings.txt`)

как аргумент при её вызове из командной строки (`agent.py y=a+b+c settings.txt`) и разбивает его на выражения состоящие из одного или двух операндов с использованием обратной польской нотации [3]. Список этих выражений сортируется по количеству вхождений в алгоритм, а приоритет получают наиболее встречаемые. Если имеются ограничения, влияющие на порядок поступления операндов в операционные устройства, уровни в графе, то порядок будет определен по количеству переменных, используемых в выражении. Для выбора оптимального графа исходя из вышеперечисленных ограничений — производится оценка с использованием метрики цикломатической сложности [4], вычисляемой по формуле: $u = e - n + p$, где e — количество ребер, p — количество компонент связности, n — количество узлов. Исходя из полученных значений для каждого из вариантов графа решается задача нахождения минимума значения цикломатической сложности. Стоит отметить, что на данном этапе граф вычислительного процесса может быть изменён разработчиком с целью внесения правок в алгоритм или оптимизации его работы вручную.

После получения графа, производится процесс генерации HDL-описания аппаратного ускорителя. Метод, которым описывается структура ускорителя на HDL-языке может быть задан разработчиком или выбран из присутствующих в разработанном средстве. Например, аппаратный ускоритель может быть построен в виде таких структур:

1. Однотактный ускоритель.
2. Конвейерный ускоритель.
3. Конечный автомат.
4. Микропрограммный автомат.
5. Микропроцессорная система со специфической системой команд.

III. ПРИМЕР

В качестве примера, рассмотрим построение и синтез аппаратного ускорителя для заданного полинома: $y = x \cdot a \cdot b + 3 \cdot a \cdot b + c$ (`agent.py y=abx+3ab+c settings.txt`). Произведём синтез двух графов вычислительного процесса (см. рис. 1). Первый граф получим при

неограниченном количестве аппаратных ресурсов (умножителей, сумматоров). При таком подходе расчёт выражений $x \cdot a \cdot b$ и $3 \cdot a \cdot b$ производится параллельно с использованием четырех умножителей и двух сумматоров. Для получения второго графа введём такие ограничения — граф должен обладать наименьшим возможным количеством стадий и операций на них. Выражение $y = x \cdot a \cdot b + 3 \cdot a \cdot b + c$ подлежит упрощению — средство способно вынести множитель ab за скобки, тогда выражение принимает такой вид: $y = ab \cdot (x+3) + c$. В таком случае снижается количество необходимых умножителей, сумматоров.

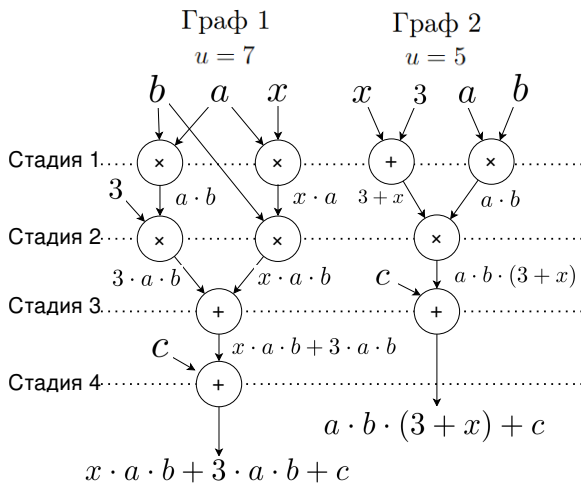


Рис. 1 – Графы вычислительного процесса для выбранного полинома

После получения графов вычислительного процесса сгенерируем четыре HDL-описания аппаратных ускорителей с последующим процессом размещения и трассировки на кристалле ПЛИС:

1. Однотактовая структура графа 1.
2. Однотактовая структура графа 2.
3. Конвейерная структура графа 1.
4. Конвейерная структура графа 2.

Однотактовая структура подразумевает установку регистров только на входах и выходах схемы, конвейерная — на входах, выходах и между стадиями графа (см. рис. 1).

В качестве интерфейса для связи с HOST-контроллером выберем AXI4-Lite и укажем генератору на необходимость внедрить контроллер данного интерфейса в структуру ускорителя. В результате работы разработанного средства получим наборы файлов с Verilog-кодом для каждой из структур. С целью оценки аппаратных затрат на реализацию каждого из ускорителей, был проведён процесс размещения и трассировки этих структур на кристалле ПЛИС компании Xilinx. Для проведения процесса синтеза был спроектирован тестовый стенд, содержащий в себе софт-процессор Microblaze с AXI-интерконнектом для доступа к регистрам аппа-

ратного ускорителя. Тип аппаратного ускорителя выбирался при помощи определения констант проектирования и конструкции generate. Процесс размещения и трассировки проводился для кристалла ПЛИС семейства Artix-7 — xc7a100tscg384-1. В качестве ограничений по частоте было выбрано значение 100 МГц. В результате работы САПР Vivado были получены отчёты по затрачиваемым ресурсам и задержкам схемы на кристалле. Данные из отчётов системы проектирования а также расчётная производительность (см. формулу 2) — приведены в таблице 1.

$$P = \frac{f_{CLK} \cdot L}{S}, \quad [10^6 \cdot \text{Операций/с}] \quad (1)$$

где f_{CLK} — максимальная частота синхронизации, L — число тактов синхронизации для выполнения одной операции при полной загрузке конвейера, S — число тактов синхронизации для выполнения одной операции при нулевой загрузке конвейера.

Таблица 1 – Аппаратные затраты и производительность схем ДКП

Ресурсы	Структура			
	1	2	3	4
LUTs	209	127	193	111
FF	64	64	224	168
f_{CLK} [МГц]	51,414	55,839	112,878	112,713
L	1	1	1	1
S	1	1	4	3
P	51,41	55,83	28,21	37,57

Анализируя полученные данные (табл. 1), можем сделать такие выводы: Граф №2 в обоих случаях показал большую производительность и потребовал меньше ресурсов для размещения в кристалле ПЛИС.

IV. Вывод

Разработанное средство для синтеза аппаратных ускорителей по заданному полиному позволяет не только быстро получать HDL-описания аппаратных ускорителей для вычисления полиномов, но и проводить их оптимизацию с целью повышения характеристик быстродействия и уменьшения аппаратных затрат для их размещения на кристалле цифровых микросхем.

1. Denning Peter J. Exponential Laws of Computing Growth Communications of the ACM / Peter J. Denning, Ted G. Lewis, — January 2017, Vol. 60 No. 1, — P. 54-65
2. Мак-Кракен Д. Численные методы и программирование на Фортране / Д. Мак-Кракен, У.Дорн. Москва «Мир», 1977, — 79-83с.
3. Пратт, Т. Языки программирования. Разработка и реализация / Т. Пратт, М. Зелковиц. — Изд. 4-е, 2002, — 336-343с.
4. McCabe. A Complexity Measure / IEEE Transactions on Software Engineering: journal. — 1976. — December. — P. 308—320.

ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМАЯ ФУНКЦИЯ ТИПА АРБИТР С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ПУТЯМИ

Иваниук А. А.

Кафедра информатики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: ivaniuk@bsuir.by

В работе предлагается новый подход для построения схем физически неклонлируемой функции типа арбитр с модифицированными путями, обладающими нелинейной конфигурацией. Такой подход позволяет усложнить взаимосвязь запросов и ответов, что потенциально затрудняет построение модели функции с целью осуществления атаки на нее. Приводятся схемотехнические решения предложенных модификаций путей и анализ свойств ФНФ типа арбитр на их основе.

ВВЕДЕНИЕ

Физически неклонлируемые функции (ФНФ) находят широкое применение в таких областях криптографии как, защита авторских прав на цифровые устройства, неклонлируемая идентификация и аутентификация цифровых устройств, генерирование секретных ключей [1] и т.д. По сути ФНФ представляет собой цифровую схему, имеющую множество входов, на которые подаются сигналы запросов, и, как правило, единственный выход, на котором формируется сигнал ответов. Множество пар «запрос-ответ» является уникальным для каждой физической реализации ФНФ, и может быть интерпретировано как физический «отпечаток пальца», который является случайным и неконтролируемым со стороны проектировщиков и производителей цифровых устройств.

Среди всего многообразия видов ФНФ выделяют ФНФ типа арбитр (АФНФ) [1], основанную на сравнении двух сигналов, распространяемых по цифровой схеме с конфигурируемыми парами симметричных путей. Классическая схема АФНФ состоит из трех основных блоков: генератора тестовых импульсов (ГТИ), блока конфигурируемых путей (БКП), и, собственно, арбитра (АРБ). Блок ГТИ вырабатывает две копии тестового сигнала, которые поступают на входы БКП. В свою очередь конфигурируемые симметричные пути строятся из базовых цифровых элементов перестановочной сети (permutation network) [2], имеющих два информационных входа a и b , управляющий вход ch , и два выхода x и y . При условии $ch = 0$ элемент осуществляет прямую коммутацию сигналов: $x = a$, $y = b$. В противном случае, при $ch = 1$, перекрестную коммутацию: $x = b$, $y = a$. Схема БКП формируется путем линейного последовательного подключения N базовых элементов перестановочной сети с независимым управлением коммутацией каждого из них сигналами ch_i ($i \in [0; N - 1]$), объединенными в единую N -разрядную шину запроса CH .

Таким образом, БКП формирует 2^N различных пар путей. Две копии тестового сигнала

поступают на входы первого элемента a_0 и b_0 , а два выхода последнего элемента x_{N-1} и y_{N-1} поступают на соответствующие входы арбитра, который осуществляет сравнение двух сигналов и по результату сравнения вырабатывает бит ответа $R \in \{0, 1\}$. При реализации классической схемы АФНФ часто используют следующие ограничения: ГТИ вырабатывает две копии фронта цифрового импульса, в качестве схемы АРБ применяют синхронный D-триггер, на вход данных и синхронизации которого поступают сигналы с выходов x_{N-1} и y_{N-1} . Подобная конфигурация обладает рядом недостатков, среди которых можно выделить линейную структуру схемы БКП, которая влечет за собой наличие уязвимости к атакам со стороны злоумышленников с целью обладания точной математической моделью конкретного экземпляра АФНФ. Для усложнения проведения таких атак, в том числе с применением методов машинного обучения, применяются различные защитные алгоритмы и схемы. В данной работе рассматривается альтернативный подход, основанный на построении нелинейных структур БКП, что потенциально усложняет понимание природы формирования пар (CH_j, R_j) ($\forall j \in [0, 2^N - 1]$) для АФНФ.

1. СИНТЕЗ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПУТЕЙ

Введем обозначение i -го элемента БКП через α_i . Тогда структуру БКП классической схемы АФНФ можно формально представить следующей записью: $VCP : (\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{N-1}) = \{\alpha\}^N$. Введем три дополнительных элемента: β — демультиплексор $2 \times k$ (с двумя входами и k выходами); γ — элемент перестановочной сети $k \times k$ и δ — мультиплексор $k \times 2$. Элемент β представляет собой специализированную схему, которая обеспечивает прямую и перекрестную коммутацию двух входных сигналов на произвольную пару выходных сигналов из C_k^2 возможных. Элемент γ осуществляет все возможные $k!$ перестановок входных сигналов с их трансляцией на k выходов. Третий элемент δ обеспечивает выборку всех возможных пар входных сигналов и их прямую и перекрестную коммутацию с двумя выходами. Выбирая различные значения k

и реализовывая различные комбинации элементов α , β , γ и δ открываются широкие возможности для построения нелинейных структур БКП, позволяющих различными способами конфигурировать пары путей. Ниже приведены примеры некоторых из возможных вариантов модификаций БКП:

1. $\{\alpha\}^l \beta \delta$;
2. $\{\alpha\}^l \beta \delta \{\alpha\}^m$;
3. $\{\alpha\}^l \beta \{\gamma\}^m \delta \{\alpha\}^p$;
4. $\{\alpha \beta \gamma \delta\}^l$.

Рассмотрим варианты реализаций приведенных элементов для случая $k = 4$. Так, элемент β может быть синтезирован на основе двух элементов α , как это показано на рис. 1.

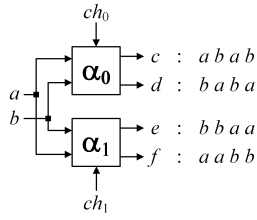


Рис. 1 – Схема элемента β для $k = 4$.

Элемент γ может быть построен на основе хорошо известной схемы [3] с добавлением блока α_5 с фиксированным значением запроса, необходимый для соблюдения структурной симметрии конфигурируемых путей (рис. 2).

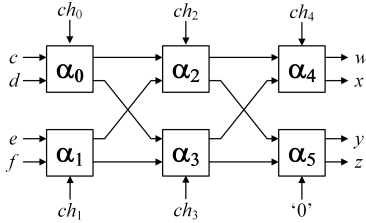


Рис. 2 – Схема элемента γ для $k = 4$.

Схема всевозможных прямых и перекрестных коммутаций двух выходных портов с четырьмя входными представлена на рисунке 3. Представленная на этом же рисунке схема преобразования запросов необходима для выборки пары различных входных сигналов.

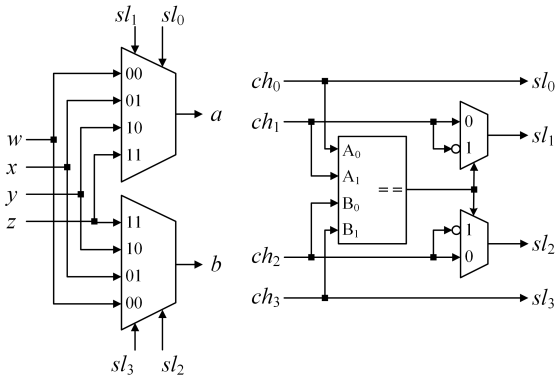


Рис. 3 – Схема элемента δ для $k = 4$ и схема преобразования запросов.

II. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Для проведения анализа предложенного подхода к синтезу элементов БКП была спроектирована экспериментальная установка на основе платы быстрого прототипирования Digilent ZYBO Z7 с FPGA класса ZYNQ. При помощи языка VHDL были созданы проектные описания двух схем с одинаковой разрядность запроса $N = 32$: схема классической АФНФ, для которой БКП описывается конфигурацией $BSP_1 : \{\alpha\}^{32}$, и схема АФНФ с БКП нелинейной конфигурации $BSP_2 : \{\alpha\}^3 \beta \{\gamma\}^4 \delta \{\alpha\}^3$ для $k = 4$. Реализация БКП классической схемы АФНФ на FPGA занимает 64 блока LUT2, а рассматриваемая схема БКП с нелинейной конфигурацией — 64 LUT2, два блока LUT4, и два блока LUT6. Две схемы оценивались по следующим основным характеристикам ФНФ [4]: стабильность (S) и единообразию (Un).

В таблице приведены средние, максимальные и минимальные значения перечисленных характеристик, полученных на 32 экземплярах обеих конфигураций схем АФНФ.

Таблица 1 – Значения характеристик

S	$avg(S)$	$max(S)$	$min(S)$
BSP_1	0.995323	1.0	0.99319
BSP_2	0.993566	1.0	0.97043
Un	$avg(Un)$	$max(Un)$	$min(Un)$
BSP_1	0.725251	0.8713	0.55254
BSP_2	0.682644	0.92412	0.2018

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен новый подход для синтеза блока конфигурируемых путей физически неклонированной функции типа арбитр. Было предложено использовать три составных элемента, которые позволяют формировать нелинейные модификации путей, что потенциально усложняет сторонние атаки на АФНФ с целью построения ее точной математической модели. Анализ результатов проведенных экспериментов показал состоятельность и перспективность предложенного подхода.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A technique to build a secret key in integrated circuits for identification and authentication applications / J.W. Lee [et al.] // Proc. of Intern. Symp. VLSI Circuits (VLSI'04), Honolulu, Hawaii, USA, 7–19 June 2004. — Honolulu, 2004. — P. 176–179.
2. Kannan, R. The KR-Benes Network: A Control-Optimal Rearrangeable Permutation Network / R. Kannan // IEEE Transactions on Computers. — 2005. — № 5(54). — P.534-544.
3. Waksman, A. A Permutation Network / A. Waksman // Journal of the ACM. — 1968. — №1(15). — P.159-163.
4. Maiti, A. A Systematic Method to Evaluate and Compare the Performance of Physical Unclonable Functions / A. Maiti, V. Gunreddy, P. Schaumont. In: Athanas, P., Pnevmatikatos, D., Sklavos, N. (eds.) Embedded Systems Design with FPGAs. Springer, New York, NY, 2013. — P. 245–267.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ SRAM ПАМЯТИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ НЕКЛОНИРУЕМОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Кайкы М. Н., Иванюк А. А.

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

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

Данная работа посвящена изучению стабильности промышленных ячеек статической памяти, используемых для неклонированной идентификации. В работе рассматривается изменение характеристик стабильности ячеек в зависимости от напряжения питания промышленного образца статической памяти.

ВВЕДЕНИЕ

В основе источников энтропии и идентификаторов обычно лежат физически неклонированные функции (ФНФ), являющиеся сущностями, воплощёнными в физической структуре, которые легко оценить, но, в силу неконтролируемых человеком процессов, невозможно воспроизвести, смоделировать или охарактеризовать [1].

I. СТАТИЧЕСКАЯ ПАМЯТЬ

Современная статическая память — полупроводниковая энергезависимая структура, ячейка которой построена при помощи двух инверторов с перекрёстной обратной связью на базе КМОП-транзисторов работающих в ключевом режиме [2] (см. рис. 1). В силу асимметрии такой структуры, ячейки статической памяти при инициализации заполняются случайными значениями, которые зависят от многих факторов, в том числе и от величины задержек на линиях обратной связи.

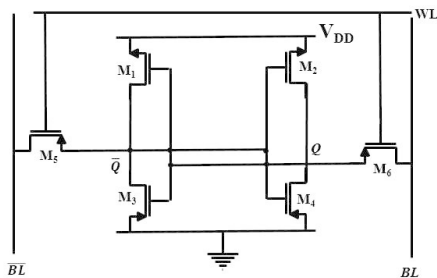


Рис. 1 – Ячейка статической памяти на 6 КМОП-транзисторах

II. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Природа инициализации ячеек и простота исполнения статической памяти определяют большой интерес к исследованию её применимости в качестве генератора уникальных последовательностей для систем идентификации и аутентификации [3]. На практике, изменение характеристик окружающей среды вносит свои коррективы в работу не только цифровых идентификаторов но и всех устройств в целом, что

отрицательно влияет на их надёжность. Данная работа направлена на изучение поведения статической памяти в качестве идентификатора с целью определить зависимость стабильности и уникальности ячеек от девиации напряжения питания.

III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для проведения экспериментов, была использована плата быстрого прототипирования Nexys-4 компании Digilent с размещённым на ней кристаллом ПЛИС Artix-7 xc7a100tscg384-1 компании Xilinx. В качестве исследуемой статической памяти была применена микросхема компании MicroChip — 23K256 размером 256 Кбит и рабочим диапазоном напряжений от 2.7В до 3.6В. Напряжение на микросхеме изменялось при помощи 12-ти разрядного ЦАП MCP4921, той же фирмы, и последовательно включённым операционным усилителем с обратной связью по напряжению AD8041 (Analog Devices). Контроль напряжения и хода эксперимента осуществлялся при помощи разработанного блока-сопряжения и софт-процессора Microblaze, размещённых в ПЛИС. В ходе проведения эксперимента на цифро-аналоговом преобразователе устанавливалось желаемое напряжение питания, после чего из микросхемы памяти считывались значения её ячеек с циклами перезагрузок (выключение питания на достаточный срок — 2 секунды [4]), всего таких циклов насчитывалось 100 для каждого напряжения. Затем, напряжение питания изменялось и процесс повторялся. В результате проведения экспериментов были получены наборы данных для значений напряжения питания микросхемы в диапазоне от 1.72 В до 4.45 В с шагом 5.5 мВ.

IV. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Проведём анализ стабильности памяти для каждого напряжения питания по отдельности, для этого посчитаем количество переключений каждой ячейки между циклами перезагрузки и разделим эту сумму на количество проведённых экспериментов (см. формулу 1).

$$S = 100\% \cdot \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{i=0}^{N-1} x_{ij} \oplus x_{(i+1)j}}{N \cdot M}, \quad (1)$$

где N — количество экспериментов, M — количество ячеек, x_{ij} — значение j -той ячейки в i -том эксперименте. Результаты проведённого анализа стабильности ячеек изображены на рис. 2.

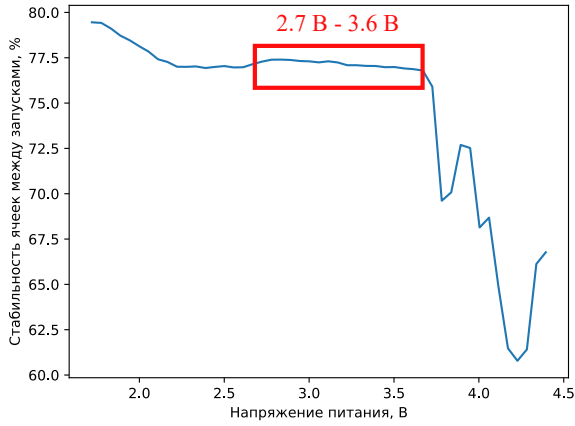


Рис. 2 – Стабильность ячеек статической памяти в зависимости от напряжения питания

Важным критерием при оценке физически неклонлируемых функций является соотношение количества нулей и единиц в её ответах. Для расчёта данного соотношения использована метрика единообразия (см. формулу 2) для каждого из напряжений питания (см. рис. 3), разрядность вектора выбрана исходя из ширины шины данных в микросхеме ($B = 8$).

$$U = 100\% \cdot \frac{\sum_{j=1}^K (1 - 2 \cdot |\frac{WH(V)}{B} - 0.5|)}{K}, \quad (2)$$

где $WH(V)$ — вес бинарного вектора V по Хэммингу, B — разрядность вектора, K — количество векторов.

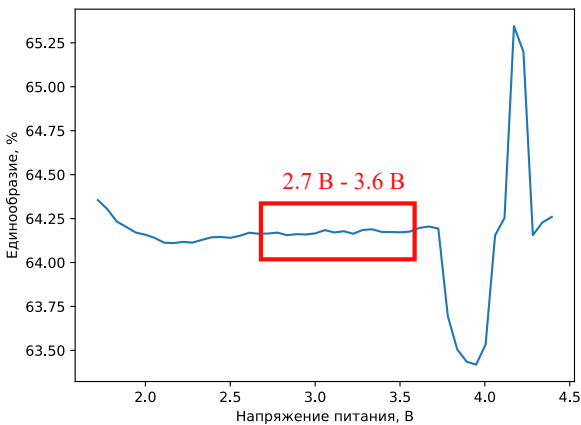


Рис. 3 – Единообразие ячеек статической памяти

Стоит отметить, что после превышения значения питающего напряжения равного 4.15 В,

микросхема статической памяти перестала полноценно функционировать как оперативное запоминающее устройство. Для проверки работоспособности микросхемы был применён маршевый тест ОЗУ MATS [5] (см. формулу 3).

$$\{\uparrow\downarrow(w0); \uparrow(r0, w1); \downarrow(r1)\} \quad (3)$$

В результате проведения данного маршевого теста, из доступного объёма — 256 Кбит, функции оперативного запоминающего устройства выполняли всего 23.74% ячеек статической памяти.

Для оценки изменения характеристик памяти от напряжения питания был произведён расчёт среднеквадратичного отклонения для всего диапазона напряжений и для выделенных диапазонов работы (ниже рабочего, рабочий, выше рабочего). Смотрите таблицу 1.

Таблица 1 – Среднеквадратичное отклонение для диапазонов напряжения питания

Напряжение, В	1,72-2,71	2,76-3,59	3,64-4,15
σ_S	0.44		
	0.87	0.17	4.94
σ_U	0.309		
	0.06	0.01	0.57

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого эксперимента и анализа полученных данных были сделаны следующие выводы:

1. С увеличением напряжения питания статической памяти стабильность ячеек при инициализации снижается на 20%.
2. При превышении рабочего диапазона напряжений питания соотношение нулей и единиц при инициализации снижается на 0,75%.
3. Использование статической памяти как физически неклонлируемой функция для систем идентификации без коррекции на практике не представляется возможным.
4. Методы коррекции для использования статической памяти как физически неклонлируемая функция для систем идентификации нуждаются в дальнейших исследованиях.

1. Pappu, R. Physical One-Way Functions: Ph.D. thesis / R. Pappu // MIT. — Boston, USA, 2001.
2. Угрюмов, Е.П. Цифровая схемотехника : учеб.-метод. пособие / Угрюмов, Е.П. — СПб.: БХВ-Петербург, 2001. - 221 С.
3. Phyo Aung, Pyi & Mashiko, Koichiro & Ismail, Nordinah & Ooi, Chia-Yee. (2020). Evaluation of SRAM PUF Characteristics and Generation of Stable Bits for IoT Security.
4. Skorobogatov, S. Hardware Security Implications of Reliability, Remanence, and Recovery in Embedded Memory. J Hardw Syst Secur 2, 314-321 (2018).
5. Ярмолик В.Н. Неразрушающее тестирование запоминающих устройств. // Ярмолик В.Н. Мурашко И.А., Куммерт А., Иванюк А.А. Минск: Бестпринт; 2005, —52 - 82 С.

FPGA-РЕАЛИЗАЦИЯ 8-ТОЧЕЧНОГО ОДНОМЕРНОГО ДКП-II НА ОСНОВЕ СХЕМЫ ЛЕФФЛЕРА

Кайки М. Н., Петровский Н. А.

Кафедра электронных вычислительных средств,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

E-mail: kaikymikhailo@gmail.com, nick.petrovsky@bsuir.by

Данная работа посвящена реализации 8-точечного одномерного дискретного косинусного преобразования второго типа на основе схемы Леффлера. Проведено сравнение производительности и аппаратных затрат ресурсов ПЛИС для реализации схемы на уровне регистровых передач, а также с использованием системы высокоуровневого синтеза компании Xilinx.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день большое распространение получили системы обработки видеоданных в масштабе реального времени. Одна из наиболее используемых операций в таких системах является дискретное косинусное преобразование (ДКП) для векторов действительных чисел. Данное преобразование получило широкое распространение в таких стандартах как JPEG, H.261/1/4, MPEG-1/2/4.

I. ДИСКРЕТНОЕ КОСИНУСНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

Использование косинусных функций имеет решающее значение для алгоритмов сжатия и обработки информации, поскольку для аппроксимации типичного сигнала требуется меньше сумм косинусов чем синусов [1]. Наиболее распространенным вариантом данного преобразования является ДКП второго типа, смотрите формулу (1). Сжатие с помощью ДКП второго типа применяется в блочном виде, при этом блоки могут иметь различную размерность — 4×4 , 8×8 , 32×32 пикселей, а само преобразование обладает свойством «уплотнения энергии сигнала» [2].

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cos \left[\frac{\pi}{N} \left(n + \frac{1}{2} \right) k \right], \quad (1)$$

где $k = 0, \dots, N - 1$, N — размер вектора

II. СХЕМА ЛЕФФЛЕРА

Основной операцией, которая вызывает трудности при аппаратной реализации схем ДКП, является операция умножения на поворачивающиеся множители (вращение Гивенса) — нетривиальные углы вращения [4]. С целью минимизации аппаратных затрат на реализацию одномерного N -точечного дискретного косинусного преобразования Леффлером была предложена конвейерная структура, имеющая в своём составе всего 11 умножителей и 29 сумматора для восьмиточечного ДКП [3]. Алгоритм ДКП, рассчитываемый по схеме Леффлера разделён на четыре различных этапа (см. рис. 1). На первом этапе входные данные обрабатываются при помощи операций «бабочка», на втором и третьем этапах — выделяются чётные и нечетные коэффициенты. Четвертый этап использует коэффициенты c_k для получения точного, немасштабированного выхода, пятый — переупорядочивание полученной последовательности.

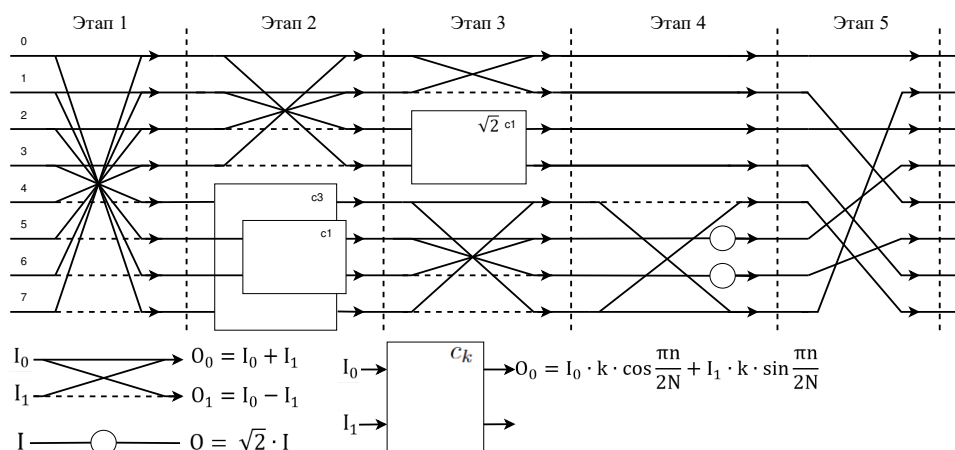


Рис. 1 – Структурная схема Леффлера для 8-ми точечного ДКП (разрядность шины данных $W_{len} = 16$)

III. АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Разработаны схемные реализации для вычисления 8-ми точечного ДКП (разрядность шины данных $W_{len} = 16$):

1. Схема Леффлера с использованием HDL описания (уровень регистровых передач).
2. Схема Леффлера с использованием Vitis HLS 2022.1 [5].
3. ДКП с использованием Vitis HLS 2022.1 и стандартных библиотек языка C.
4. ДКП с использованием Vitis HLS 2022.1 и вычислений функции \cos на основе CORDIC аппроксимации (число итераций вращения 7).

При проектировании системы с использованием схемы Леффлера на уровне регистровых передач, использовались языки описания аппаратуры Verilog и SystemVerilog, была задействована структурная схема, изображённая на рисунке 1. Конвейерная реализация схемы Леффлера имеет 5 этапов, которые разделены на 4 ступени (4 и 5 этапы объединены и расположены в 4 ступени).

Также, для решения задач ДКП в системе высокоуровневого синтеза Vitis HLS [6] были спроектированы три схемы на языке высокого уровня C (Структуры №2-4). Для каждой из них, был проведён процесс генерации IP-ядер с последующим процессом размещения и трассировки на кристалле ПЛИС. Для решения №2, схема (см. рис. 1) была описана без изменений структуры предложенной Леффлером. Для решений №3 и №4, схема была представлена с использованием циклов и функций для расчёта косинуса числа: из библиотеки `math.h` (№3) и вычисления функции \cos на основе CORDIC аппроксимации (число итераций вращения 7) (№4). Полученные IP-ядра были импортированы в Vivado [7], где были последовательно интегрированы в тестовые среды с целью получения сведений об аппаратных затратах и дальнейшего сравнения. Размещение и трассировка на ПЛИС производилась для кристалла семейства Artix-7 — xc7a100tscg384-1 [8], в качестве ограничений по частоте синхросигнала было выбрано значение 200 МГц. В результате работы Vivado были получены отчёты по затрачиваемым ресурсам ПЛИС и критическому пути схемы, данные из отчётов и расчётная производительность (2) приведены в таблице 1.

$$P = \frac{f_{CLK} \cdot S}{L}, \quad [10^6 \cdot \text{Операций ДКП/с}] \quad (2)$$

где f_{CLK} — максимальная частота синхронизации, S — число ступеней конвейера, L — число тактов синхронизации для выполнения одной операции при полной загрузке конвейера.

Таблица 1 – Аппаратные затраты и производительность схем ДКП

Ресурсы	Структура			
	1	2	3	4
LUTs	264	1489	24634	14578
FF	320	734	22679	12046
DSP	11	16	142	312
BRAM	0	17	16	6
f_{CLK} [МГц]	225,62	240,44	102,09	140,94
S	4	1	1	1
L	1	404	222	66
P	4,065	0,595	0,459	2,135

Анализируя полученные данные (табл. 1), можем сделать такие выводы: разработанная FPGA-реализация схемы Леффлера для задач ДКП оказалась наиболее привлекательна по отношению затрачиваемых ресурсов к производительности, чем реализации полученные на базе системы высокоуровневого синтеза Vitis HLS.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проанализированы аппаратные затраты FPGA Xilinx Artix-7 и производительность схем для выполнения 8-ми точечного дискретного косинусного преобразования на основе схемы Леффлера. Предложены 3 реализации с использованием средства высокоуровневого проектирования Vitis HLS.

1. Britanak, Vladimir; Yip, Patrick C.; Rao, K. R. Discrete Cosine and Sine Transforms: General Properties Britanak, Vladimir, 6 November 2006, Academic Press.
2. Rao, K. Ramamohan; Yip, Patrick C. Discrete Cosine Transform: Algorithms, Advantages, Applications. 11 September 1990
3. Loeffler, C. Practical fast 1-D DCT algorithms with 11 multiplications / C. Loeffler, A. Lightenberg, G. Moschytz // Proc. IEEE Intern. Conf. Acoust., Speech, Signal Process. (ICASSP). – Glasgow, 1989. – Vol. 2. – P. 988–991.
4. Ключеня, В. В. Быстрое прототипирование встраиваемых программируемых систем на ПЛИС для мультимедийных приложений / В. В. Ключеня, Н. А. Петровский // Информатика. — 2015. — № 3 (47). — С. 13–28.
5. Схема Леффлера с использованием Vitis HLS 2022.1 [Электронный ресурс]. — <https://github.com/xupgit/High-Level-Synthesis-Flow-on-Zynq-using-Vivado-HLS> — Дата доступа: 05.10.2022.
6. Система высокоуровневого синтеза Vitis HLS [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.xilinx.com/ug1399-vitis-hls>. — Дата доступа: 10.10.2022.
7. Система автоматизированного проектирования Vivado [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.xilinx.com/ug910-vivado-getting-started>. — Дата доступа: 05.10.2022.
8. Семейство ПЛИС — Artix-7 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://docs.xilinx.com/ds181Artix7_Data_Sheet. — Дата доступа: 06.10.2022.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ДНФ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

Кардаш С. Н.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси
Минск, Республика Беларусь
E-mail: kardash77@gmail.com

Предлагаются результаты экспериментального исследования двух вариантов алгоритма ортогонализации системы дизъюнктивных нормальных форм булевых функций.

I. ВВЕДЕНИЕ

Для решения многих задач синтеза, диагностики и анализа надежности технических систем используется представление булевых функций в виде дизъюнктивных нормальных форм (ДНФ). Часто бывает полезно иметь такие системы ДНФ, в которых все входящие в них элементарные конъюнкции взаимно ортогональны. Для получения таких систем необходимо проводить ортогонализацию исходных систем ДНФ. В работах [1-3] даны как необходимые понятия, так и идеи, способствующие решению этой задачи.

В случае небольшого числа переменных задачу ортогонализации ДНФ можно решить, разложив дизъюнктивно каждую элементарную конъюнкцию по всем отсутствующим в ней переменным, и после приведения подобных получить в результате совершенную ДНФ. Однако такой способ может оказаться неприемлем, когда переменных много. В частности, для системы ДНФ, зависящих от n переменных, число конъюнкций в ортогонализованной системе может достигать 2^n .

В работе [4] был предложен алгоритм, основанный на дизъюнктивном разложении элементарных конъюнкций на серию других конъюнкций, каждая из которых либо ортогональна всем конъюнкциям из некоторой совокупности, либо поглощается одной из них. В работе [5] была рассмотрена модификация алгоритма [4]

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Оба предложенных алгоритма реализованы на языке программирования C++ с использованием библиотеки классов «булев вектор» и «троичный вектор». Для проверки эффективности разработанных программ был проведен вычислительный эксперимент. Примеры матричных SF-описаний систем полностью определенных булевых функций были взяты из набора промышленных тестовых примеров, входящих в библиотеку примеров Berkeley PLA TestSet [6]. Исследовались два алгоритма ортогонализации – предложенный в [4] и предложенный в [5], обозначаемые далее OLD и NEW соответственно. Результаты эксперимента представлены в табли-

це 1, где n – число переменных, m – число функций, k – число элементарных конъюнкций исходной системы ДНФ булевых функций. Система ДНФ задавалась парой матриц [3]. Всего для каждого алгоритма рассматривалось три варианта ортогонализации. При первом (столбцы 1 и 2) производилось предварительное упорядочивание строк матриц по возрастанию числа литералов, при втором (столбцы 3 и 4) – по убыванию, а в третьем (столбцы 5 и 6) – упорядочивание не производилось.

В ходе вычислений замерялись следующие параметры:

C – число выполнений цикла проходов исходной системы ДНФ;

M – максимальное число строк в матрице, полученной при работе алгоритма;

R – суммарное число произведенных разложений;

S – суммарное число произведенных склеиваний;

P – суммарное число произведенных поглощений.

K – число элементарных конъюнкций в ортогонализованной системе.

В качестве иллюстрации сложности решаемых в ходе ортогонализации задач отметим результат ортогонализации для примера intb с параметрами: $n = 15$, $m = 7$, $k = 664$. За 10 часов работы программы была получена ДНФ с 7987 конъюнкциями. При этом за 25 выполнений цикла было произведено 31707 разложений, 117599 склеиваний, 143844 поглощений, а число конъюнкций в матрице на пике вычислений достигало 22855

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные результаты экспериментального исследования показали заметное преимущество в качестве получаемых решений алгоритма ортогонализации [5] над алгоритмом [4]. Эксперимент показал, что для исследованного множества примеров использование новой программы во всех случаях обеспечивало нахождение лучшего решения. При этом преимущество нового алгоритма над старым достигало 80 процентов.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Имя	n	m	k		1	2	3	4	5	6
					OLD	NEW	OLD	NEW	OLD	NEW
TIAL	14	8	640	C	23	23	25	25	24	24
				M	22011	22011	26686	26686	29403	29403
				R	85118	85118	94729	94729	96449	96449
				S	105760	105760	120047	120047	124603	124603
				P	16474	16474	17766	17766	18368	18368
B9	15	5	123	K	9218	5937	10385	6405	10584	6461
				C	21	21	21	21	25	25
				M	12142	12142	9813	9813	12956	12956
				R	36838	36838	27304	27304	44505	44505
				S	40604	40604	30126	30126	49682	49682
Mp2d	14	14	123	P	2859	2859	2659	2659	3127	3127
				K	11954	6319	9793	5334	12703	6763
				C	15	15	14	14	20	20
				M	801	801	722	722	693	693
				R	2707	2707	2083	2083	2553	2553
X6dn	39	5	121	S	3911	3911	2663	2663	2963	2963
				P	209	209	199	199	202	202
				K	525	334	534	328	561	339
				C	12	12	13	13	13	13
				M	302	302	328	328	346	346
In2	19	10	137	R	384	384	409	409	446	446
				S	436	436	456	456	478	478
				P	206	206	176	176	227	227
				K	268	219	287	239	305	233
				C	15	19	14	12	16	18
int b	15	7	664	M	1165	808	1727	1345	2212	1829
				R	1711	1220	2827	2177	3502	3094
				S	2496	1384	4214	2633	5360	3693
				P	429	645	523	785	544	1005
				K	955	448	1316	627	1772	879
sex	9	14	23	C	25	25	25	24	25	25
				M	31707	31707	31707	32496	31707	34451
				R	117599	117599	117599	118077	117599	107197
				S	143844	143844	143844	149916	143844	135809
				P	22855	22855	22855	21605	22855	22278
sex	9	14	23	K	8875	7281	7987	7703	8554	7416
				C	11	11	10	10	11	11
				M	244	244	282	282	172	172
				R	559	559	473	473	283	283
				S	690	690	589	589	339	339
sex	9	14	23	P	46	46	57	57	27	27
				K	187	122	201	124	156	106

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Поттосин, Ю.В., Шестаков Е.А. Ортогонализация системы полностью определенных булевых функций / Ю.В.Поттосин, Е.А.Шестаков / Логическое проектирование, Вып.5. – Минск: Институт технической Кибернетики НАН Беларуси, 2000 г. – С. 107–115.
- Закревский, А.Д. Основы логического проектирования. В двух книгах. Книга 1. Комбинаторные алгоритмы дискретной математики / А.Д. Закревский, Ю.В. Поттосин, Л.Д. Черемисинова. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2004. – 226 с.
- Закревский, А.Д. Основы логического проектирования. В двух книгах. Книга 2. Оптимизация в булевом пространстве / А.Д.Закревский, Ю.В. Поттосин, Л.Д. Черемисинова. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2004. – 240 с.
- Кардаш, С. Н. Ортогонализация системы ДНФ булевых функций / С. Н. Кардаш // Информационные технологии и системы 2020 (ИТС 2020) – Information Technologies and Systems 2020 (ITS 2020): материалы междунар. науч. конф., (Республика Беларусь, Минск, 18 ноября 2020 года) редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск: БГУИР, 2020. – С. 41–42.
- Кардаш, С. Н. Ортогонализация системы ДНФ булевых функций / С. Н. Кардаш // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС-2022): Сборник трудов, Россия, Москва, март-ноябрь 2022 г. – С. 21–25.
- Berkeley PLA test set [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www1.cs.columbia.edu/cs4861/sis/espressoexamples/ex/>. – Date of access: 10.10.2011

ФОРМАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Логинова И. П.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

E-mail: irilog@mail.ru

Предложена методика проверки корректной работы параллельных программ логической оптимизации на базе программного фреймворка, предоставляющего удобный инструментарий для проведения экспериментальных исследований, сравнения эффективности алгоритмов и формальной верификации. Фреймворк интегрирован с системой логической оптимизации функционально-структурных описаний дискретных устройств FLC-2, позволяет запускать программы оптимизации как на Windows, так и на Linux ОС, а также использовать инструмент формальной верификации FormalPro (ф. Mentor Graphics) для верификации результатов параллельных программ оптимизации.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития в САПР СБИС появляются задачи и направления, обусловленные возрастающей сложностью элементной базы, новыми технологиями и динамически меняющимися подходами к проектированию. Инструменты САПР делают возможным автоматизацию многих аспектов процесса проектирования благодаря использованию эффективных алгоритмов и их программных реализаций. Большая часть алгоритмов из области логического синтеза, используется в составе различных САПР, в том числе отечественных [1]. Исторически сложилось так, что такие алгоритмы, реализованы на языках высокого уровня в виде программ с последовательно выполняемым кодом, без привязки к архитектуре вычислительных средств. В тоже время развитие высокопроизводительных многоядерных и многопроцессорных компьютерных систем приводит к повсеместному применению параллельных и распределенных вычислений, в том числе и в сфере САПР. Однако при разработке программ с использованием параллельных и распределенных вычислений возникают трудности с их отладкой и верификацией.

Разработка параллельной программы проводится либо на основе нового параллельного алгоритма, либо путем распараллеливания некоторых шагов существующего алгоритма. При любом подходе возникают проблема поиска и выявления ошибок, появляющихся в процессе выполнения параллельного кода. Для поддержки процесса отладки параллельных программ имеются инструменты отладки, основанные на сборе и автоматическом анализе информации по результату выполнения программ и предназначенные для многопоточных и OpenMP программ, например, Intel Thread Checker [2]. В дополнение к традиционным методам отладки выявление дефектов в параллельных программах также можно вести при помощи тестирования и верификации.

I. ВЕРИФИКАЦИЯ КАК ОСНОВНОЙ ИНСТРУМЕНТ ПРОВЕРКИ

На первый взгляд для проверки правильности работы параллельной программы можно сравнить результаты выполнения последовательной и параллельной версий. Но часто результаты параллельной версии могут отличаться от результатов последовательной версии программы. Одна из причин различия результатов - изменение порядка выполнения процессов и операций при вычислениях. Результаты параллельных расчетов могут не совпадать при различных запусках даже при одних и тех же начальных данных, поскольку условия запуска (например, загрузка и состояние вычислительной системы) могут влиять на порядок вычислений. Различие в порядке выполняемых вычислений - является одной из принципиальных проблем при разработке параллельных программ.

Традиционный способ проверки работы программы путём тестирования - как и любое тестирование, не гарантирует правильности полученного решения для любой программы и параллельной в том числе. Т.е. тестирование лишь выявляет некоторые ошибки, но не даёт гарантии их полного отсутствия. Поэтому при тестировании говорить о полученном правильном решении можно только для одного конкретного запуска программы. Альтернативой тестированию являются моделирование и верификация. Доказать отсутствие ошибок в программе позволяет проведение верификации различными методами непосредственно в процессе разработки программы. Поскольку результатом работы программ оптимизации объектов проектирования является получение оптимизированных описаний тех же объектов, появляется необходимость в доказательстве эквивалентности описаний объекта до и после оптимизации. На этапе логического проектирования для проверки корректности описаний исходных и результирующих объектов программ оптимизации применяют системы фор-

мальной верификации, входящие в состав САПР СБИС. Поскольку одним из направлений применения систем формальной верификации - проверка на эквивалентность исходного объекта и объекта, получаемого в результате оптимизации, этот подход можно применить для проверки объекта оптимизации, полученного в результате работы параллельной программы.

II. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД

Таким образом, при работе с проектом в системе логического проектирования возникает задача контроля эквивалентности двух объектов проектирования, решением которой занимается система верификации FormalPro [3]. Система FormalPro может осуществлять проверку эквивалентности описаний схемы на уровне вентилей и RTL-модели, обеспечивает высокое качество верификации, поддерживает проекты практически неограниченного объема, включена в состав САПР Mentor Graphics и работает на ОС Sun Solaris и Linux. Для проведения экспериментальных исследований по сравнению эффективности различных программ логической оптимизации на различных операционных платформах, в том числе параллельных программ, а также проведения формальной верификации разработан фреймворк Plus. Он позволяет проводить формальную верификацию исходного и результирующего объекта оптимизации на уровне SF-описаний программой [4], в основе которой лежит реализация проверки выполнимости конъюнктивной нормальной формы. В фреймворке Plus реализована возможность проведения формальной верификации на уровне VHDL-описаний с использованием системы FormalPro [5]. Взаимодействие с FormalPro в фреймворке Plus реализовано посредством так называемой бесшовной интеграции функционала системы FormalPro с пользовательским интерфейсом Plus, что обеспечивает возможность работы с системой верификации на платформе Linux. Также в Plus реализована возможность проведения вычислительных экспериментов с программами логической оптимизации в Windows, Linux и на GRID кластере. Коротко, бесшовную интеграцию можно определить как обеспечение взаимодействия двух и более программных систем с «упрощением» пользовательского влияния на миграцию данных между системами. Основу такой интеграции в Plus составляет программная надстройка, которая позволяет организовать совместную работу двух ОС - Windows и Linux на основе программы для создания виртуальных машин VirtualBox (ф.Oracle)[5]. Реализовать интеграцию с FormalPro, запуск программ оптимизации в Linux, можно различными способами. Эти способы разделены на три класса (перечислены в порядке возрастания сложно-

сти): файлы импорта/экспорта, связь через API-интерфейс, полная (бесшовная) интеграция. Самым простым с точки зрения реализации является механизм обмена через структурированные файлы импорта/экспорта. В таком случае передача выполняется в соответствии с заранее согласованными форматами. Например, источник данных (фреймворк Plus или система FormalPro) формирует их, а затем через механизмы экспорта VirtualBox передает в файлы, которые читаются системой-приемником, т.е. FormalPro. Использование файлов экспорта/импорта в ряде случаев обеспечивает большую гибкость. Поэтому большинство проектов по бесшовной интеграции выполняется именно таким способом - посредством включения элементов виртуализации.

Итак, инструментальными средствами фреймворка проводится: 1) проверка на эквивалентность исходного и оптимизированного описания, полученного в результате работы последовательной программы; 2) проверка на эквивалентность исходного и оптимизированного описания, полученного в результате работы параллельной программы; 3) проверка на эквивалентность оптимизированных описаний объектов, получаемых последовательной и параллельными программами оптимизации. Если на всех трех этапах проверки оказывается, что описания объектов эквивалентны, то можно утверждать, что параллельная программа логической оптимизации работает корректно и выдает правильное решение.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бибило, П. Н. Система логической оптимизации функционально-структурных описаний цифровых устройств на основе продукционно-фреймовой модели представления знаний / П.Н. Бибило, В.И. Романов // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем: сб. трудов IX Всероссийской научн.-техн. конф., Москва, 5 – 8 октября 2020 г. / ИПИМ РАН; под общ. ред. акад. РАН А.Л. Стемпковского. – М.: 2020. – Часть 4. – С. 9–16.
2. Reinders, J. Intel Threading Building Blocks: Outfitting C++ for Multi-Core Processor Parallelism / J. Reinders // Sebastopol: O'Reilly, 2007. 336 p.
3. Лохов, А. Функциональная верификация СБИС в свете решений Mentor Graphics/ А. Лохов // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2004. – № 1. – С. 58 – 62
4. Черемисинова, Л. Д. Задачи верификации логических описаний комбинационных устройств / Л. Д. Черемисинова, Д. Я. Новиков // Информационные технологии и системы 2013 (ИТС 2013) : материалы международной научной конференции, БГУИР, Минск, Беларусь, 23 октября 2013 г.
5. Логинова, И. П. Верификация с использованием средств formalpro в системе логического проектирования заказных КМОП СБИС /И. П. Логинова // Новые информационные технологии в исследовании сложных структур : материалы Двенадцатой конференции с международным участием. 4-8 июня 2018 г. – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. – С. 72-73.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУБТАКТОВЫХ ЛИНИЙ ЗАДЕРЖКИ ДЛЯ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМОЙ ФУНКЦИИ ТИПА АРБИТР

Шамына А. Ю., Иванюк А. А.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий, кафедра информатики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: {shamyna, ivaniuk}@bsuir.by

Произведен анализ временных характеристик физически неклоняруемой функции типа арбитр классической структуры с использованием субтактовых линий задержек. Кратко изложены концепции построения времяизмерительной системы и способы ее калибровки. Описано построение экспериментальной установки. Экспериментальные исследования проводились на плате быстрого прототипирования Digilent z7-10 с SoC Zynq-7000.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальным и востребованным является использование средств физической криптографии. Эти средства применяются в протоколах аутентификации и проверки подлинности, а также в различных криптосистемах как источник энтропии. Многие из них основаны на использовании физически неклоняруемых функций (ФНФ) [1]. Широкое применение получили физически неклоняруемые функции типа арбитр (АФНФ). Основополагающая идея их работы базируется на уникальности и неповторимости временных характеристик распространения сигналов через пути цифрового устройства. В схеме АФНФ предполагается наличие блока симметричных путей (БСП), через который распространяются тестовые импульсы и арбитра, задача которого сводится к определению очередности прохождения фронтов этих импульсов через БСП. Однако при реализации данных схем на современных платформах (таких как ПЛИС типа FPGA) возникают сложности с оценкой их временных характеристик. Консервативные оценки задержек с использованием параметрических моделей зачастую не подходят для измерения уникальных временных характеристик задержек конкретного экземпляра устройства. Подходы для измерения, основанные на применении принципов кольцевого осциллятора также обладают ограничениями с точки зрения подбора времени и окна измерения, а также их реализации [2].

В настоящей работе для оценки временных характеристик АФНФ предлагается использовать времяизмерительную систему (англ. time to digital conversion, TDC), построенную на основе субтактовых линий задержки (англ. tapped delay line, TDL) [3-4]. Данный вид времяизмерительных систем широко применяется в тех областях, где требуются измерения между физическими событиями (рис. 1) с высокой точностью и производительностью. Например, в масс-

спектрометрии, позитронно-эмиссионной томографии, экспериментах по ядерной и квантовой физике и т.п.

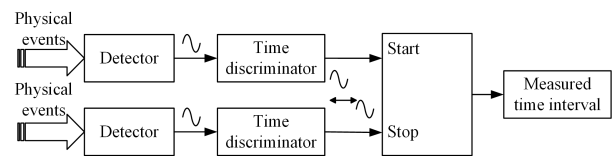


Рис. 1 – Концепция TDC

I. КОНФИГУРАЦИЯ TDC

За основу при реализации времяизмерительной системы была выбрана методика интерполяции, описанная в [4]. Ее суть заключается в совместном использовании счетчиков «грубого» подсчета тактов TDC и TDL при измерениях. Это позволяет значительно расширить окно измерений, а также синхронизировать события между несколькими независимыми каналами (при условии тактирования одним синхросигналом).

Составными частями канала TDC являются: вход измеряемого сигнала «Hit», линия задержки «Delay line», счетчик тактов «Counter», каскадный счетчик единиц «Encoder» и блок управления «Control unit» (рис. 3).

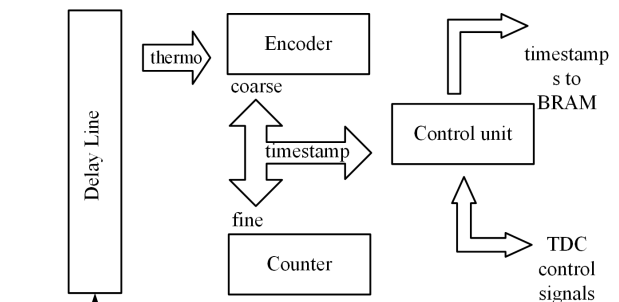


Рис. 2 – Схема канала TDC

Ключевым элементом канала измерения TDC является субтактовая линия задержки

TDL. Принцип ее работы заключается в формировании цепи последовательно соединенных звеньев, через которую пропускается измеряемый сигнал. Проходя через элементы задержки, фронт сигнала переключает подключенные к ним триггеры, которые синхронизированы одним тактовым сигналом (рисунок 3). Задержка данной линии должна быть несколько больше, чем период тактового сигнала TDC. Данная структура TDL является автономной и не требует дополнительной логики сброса, т.к. выход линии заведен на входы портов сброса триггеров. Для уменьшения задержки между элементами линии задержки и увеличения точности измерений были использованы линии логики быстрого переноса (англ. fast carry logic), которые напрямую соединяют SLICE-блоки столбца FPGA. Однако несмотря на такое решение, задержка на каждом шаге имеет разное значение. Поэтому такая схема нуждается в процедуре калибровки и вычисления задержки каждого шага линии задержки. Для калибровки был использован метод коррелированных событий [5].

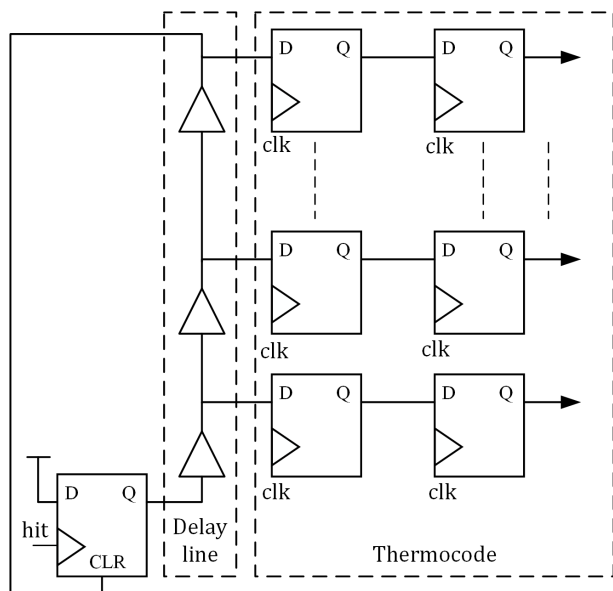


Рис. 3 – Схема TDL

II. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Проект был создан и разработан в САПР Vivado 2018.2. Реализация канала TDC была выполнена в виде IP-ядра. Количество элементов для данной конфигурации было подобрано исходя из частоты для работы TDC. Для гибкого взаимодействия с ПК на платформе Zynq 7000 был развернут PetaLinux. Передача данных между ПК и экспериментальной установкой осуществлялась по протоколу TCP. Для этих целей было реализовано клиент-серверное приложение. Со стороны ПК было также разработано приложение

для анализа поступающих данных измерений с использованием Matlab.

Для измерений была выбрана схема АФНФ, описанная в работе [2]. Конфигурация исследуемой АФНФ включала $N = 64$ звеньев блока симметричных путей. Всего было сгенерировано 10^5 запросов АФНФ и проведено столько же измерений. График распределения задержек для одного пути АФНФ выбранной конфигурации представлен на рисунке 4.

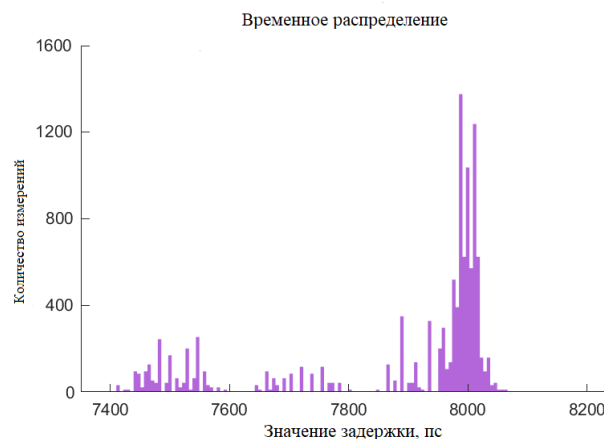


Рис. 4 – График распределение задержек АФНФ

Измерения соответствуют полученным результатам в работе [2].

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о возможности и целесообразности использования подходов TDC для измерений внутренних задержек цифрового устройства. Концепция TDL может быть применена в качестве основы для разработки нового подхода при создании схемы арбитра АФНФ. В дальнейшем планируется сосредоточить усилия над увеличении точности схемы TDC и снижения ее аппаратных затрат.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pappu, R. Physical One-Way Functions: PhD Thesis in Media Arts and Sciences / R. Pappu. – Cambridge : Massachusetts Institute of Technology, 2001. – 154 p.
2. Шамина А.Ю., Иванюк А.А. Исследование временных параметров физически неклонированной функции типа арбитр с использованием кольцевого осциллятора. Цифровая трансформация. 2022; 28(1): 27-38.
3. M. Adamič and A. Trost, "A Fast High-Resolution Time-to-Digital Converter Implemented in a Zynq 7010 SoC," 2019 Austrochip Workshop on Microelectronics (Austrochip), 2019, pp. 29-34, doi: 10.1109/Austrochip.2019.00017.
4. Jozef Kalisz, "Review of methods for time interval measurements with picosecond resolution," Metrologia, vol. 41, no. 1, pp. 17-32, February 2004.
5. J. Wu, "Several Key Issues on Implementing Delay Line Based TDCs Using FPGAs," in IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 57, no. 3, pp. 1543-1548, June 2010, doi: 10.1109/TNS.2010.2045901.

Секция «Математическое
моделирование и компьютерная
графика»

Section «Mathematical modeling and
computer graphics»

ДИАГНОСТИКА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ: ВИБРАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ

Бондарева Т. О.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: tatyana.bondareva.2016@mail.ru

В данной статье приведена информация о современных подходах к анализу вибрационных сигналов и их сравнительный анализ. Приводится описание таких методов как спектральный анализ Фурье, вейвлет-анализ, Гильберта-Хуанга и поднимается проблематика их ограничений.

ВВЕДЕНИЕ

В ходе решения задач обеспечения надежности эксплуатации промышленного оборудования и предотвращения возникновения аварийных ситуаций отдельным направлением технической диагностики в анализе машин и механизмов, использующих роторные двигатели, является вибродиагностика.

В силу того, что основной задачей технической диагностики является обнаружение и поиск (указание местоположения) дефектов, то существенным преимуществом вибродиагностики является ее способность выявлять основные типы дефектов оборудования: дисбаланс, несоосность и непараллельность валов, жесткость и ослабление опор, обрыв анкерных болтов, нарушение геометрии линии вала, а так же различные дефекты подшипниковых узлов, включая проблемы со смазкой. Поэтому вибродиагностика используется в автоматизированном мониторинге в режиме реального времени.

I. О ВИБРАЦИИ

Вибрация – это сложный колебательный процесс, возникающий при периодическом смещении центра тяжести какого-либо тела от положения равновесия, а также при периодическом изменении формы тела по сравнению с той, какую оно имеет при статическом состоянии[1].

Производственная вибрация возникает в результате механического колебания работающих машин, движения жидкостей и других неуравновешенных воздействий. Такие вибрационные сигналы имеют кусочно-непрерывную структуру, представляющую собой последовательность чередующихся во времени квазистационарных и нестационарных вибрационных процессов, соответствующих различным режимам работы объекта.

II. МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

С учетом природы вибросигнала в настоящее время для оценивания параметров многокомпонентных вибрационных сигналов используются следующие методы:

- преобразования Фурье;
- вейвлет-преобразования;
- преобразование Гильберта-Хуанга.

1. Преобразования Фурье – это математическая модель, которая преобразует форму сигнала во временной области в отдельные компоненты синусоидальной волны в частотной области. Частотно-временной анализ сигнала позволяет получить совмещенную частотно-временную картину характеристик сигнала.

При исследовании непрерывного спектра обычно невозможно сказать, принадлежит ли он случайному сигналу или переходному. Это ограничение присуще частотному анализу Фурье, поэтому, сталкиваясь с непрерывным спектром полезно изучить его временную реализацию. Применительно к анализу вибрации машины, это позволяет отличить удары, имеющие импульсные временные реализации, и случайный шум, вызванный, например, кавитацией.

Основным ограничением преобразование Фурье является его не применимость для нестационарных сигналов. Чтобы обойти ограничения анализа во временной области, применяют частотный, или спектральный, анализ вибрационного сигнала. Однако спектральный анализ не дает информацию о локализации частоты в пространстве или во времени.

В связи с этим Фурье-анализ хорош для анализа стационарных процессов, а при нестационарности принято привлекать вейвлет-преобразование и преобразование Гильберта-Хуанга, имеющие разную суть.

2. Основная идея вейвлет-анализа заключается в том, чтобы для поиска локальной особенности использовать разложение по функциям, похожим на искомую особенность, то есть также хорошо локализованным. Такой подход предполагает представление функции одной координаты в виде функции двух координат – пространственной и масштабной.

Поскольку вейвлет-анализ дает не только информацию о спектральном составе исследуемого процесса, как анализ Фурье, но также и информацию об изменении спектрального состава во времени или пространстве, то он нашел применение в первую очередь при анализе нестационарных процессов.

3. Преобразование Гильберта-Хуанга – метод эмпирической модовой декомпозиции нелинейных и нестационарных процессов и Гильбертов спектральный анализ. Преобразование Гильберта-Хуанга представляет собой частотно-временной анализ сигналов и не требует априорного функционального базиса преобразования. Функции базиса получаются адаптивно непосредственно из данных процедурами отсеивания функций «эмпирических мод». Мгновенные частоты вычисляются от производных фазовых функций Гильбертовым преобразованием функций базиса. Заключительный результат представляется в частотно-временном пространстве[2].

Реализация преобразования Гильберта-Хуанга состоит из двух этапов[3–4]:

- Выполняется эмпирическая модовая декомпозиция, в результате которой исходный сигнал разлагается на ряд компонент, которые называются эмпирическими модами;
- В полученному разложению применяются преобразование Гильберта.

Преобразование Гильберта-Хуанга может быть использовано для анализа вибрационных сигналов различной природы, в том числе и нестационарных. Также имеет хорошее разрешение по частоте и времени, что позволяет достаточно точно опреде-

лять момент появления или исчезновения определенных частотных составляющих.

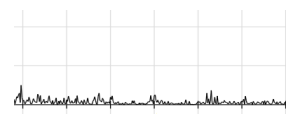
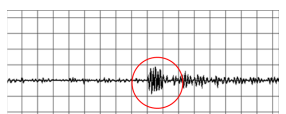
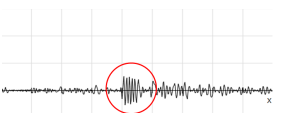
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные выше методы сведены в Таблицу 1 по следующим критериям: наличие ограничения по стационарности, необходимость предварительного преобразования, необходимость предварительных расчетов параметров и сравнительная визуализация сигнала с кратковременным возмущением.

Из таблицы следует вывод о возможности сокращения временных затрат на анализ вибрационных сигналов путем использования алгоритма Гильберта-Хуанга. Преобразование Фурье и вейвлет-преобразование требуют для своей реализации базиса разложения, что несколько ограничивает их применение. В свою же очередь преобразование Гильберта-Хуанга может быть использовано для анализа вибрационных сигналов различной природы, не требуя для своей реализации выбора функционального базиса разложения, так как он формируется из самих данных.

1. Основы измерения вибрации [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа http://www.vibration.ru/osn_vibracii.shtml
2. The Hilbert-Huang transform and its applications / editors, Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5 Toh Tuck. Link, Singapore 596224
3. Алимуратов, А.К. Повышение точности измерения частоты основного тона на основе оптимизации процесса декомпозиции речевых сигналов на эмпирические моды / А.К. Алимуратов, Ю.С. Квитка // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 4(26). – С. 53–65.
4. Кан, Ш.Ч. Анализ нестационарных сигналов на основе преобразования Гильберта-Хуанга / Ш.Ч. Кан, А.В. Микулович, В.И. Микулович // Информатика. – 2010. – № 2. – С. 36–47.

Таблица 1 – Анализ преимуществ и недостатков Вейвлет-преобразования, преобразования Фурье и Гильберт-Хуанга преобразования

	Преобразование Фурье	Вейвлет-преобразование	Преобразование Гильберта-Хуанга
Наличие ограничения по стационарности	подходит только для стационарных сигналов;	ограничений нет	ограничений нет
Необходимость предварительного преобразования	необходимо преобразования исходного сигнала с помощью преобразования Фурье	необходимо преобразования исходного сигнала с помощью вейвлет-преобразования	необходимо разложение исходного сигнала на моды
Необходимость предварительных расчетов параметров	необходим базис разложения	необходим предварительный выбор типа вейвлета и центральной частоты его частотной характеристики	предварительные расчеты не требуются
Визуализация сигнала с кратковременным возмущением			

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ СБИС НА ЯЗЫКЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ

Черемисинов Д. И., Черемисинова Л. Д.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

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

Предлагается метод и программа симулирования алгоритмов поведения цифровых устройств на языке ПРАЛУ. Программа допускает интеграцию в среду проектирования существующих промышленных и свободных САПР СБИС. При использовании разработанной программы моделирования в составе САПР анализ результатов модулирования может быть выполнен посредством программы просмотра формы сигналов (waveform viewer) из состава программ САПР. Эта возможность обеспечивается путем использования стандартного формата представления результатов моделирования.

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование схемы — это процесс, в котором модель электронной схемы создается и анализируется с использованием различных программных алгоритмов, которые прогнозируют и проверяют поведение и характеристики схемы. Поскольку изготовление электронных схем, особенно больших интегральных схем (СБИС), является дорогостоящим и требует много времени, перед ее изготовлением выгоднее проверить поведение и производительность схемы с помощью симулятора.

Существуют различные типы симуляторов схем, отвечающие различным потребностям в диапазоне точности/производительности. На одном конце спектра находятся аналоговые симуляторы, которые решают точные представления электронных схем, на другом конце — цифровые симуляторы, использующие функциональные представления электронных схем, обычно описываемые с помощью языков описания оборудования (HDL). Цифровые симуляторы обеспечивают наивысшую производительность и объем модели, но при относительно более низком уровне точности.

I. МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

Для СБИС традиционные методы наладки электронных схем с помощью генератора сигналов и осциллографа чрезвычайно затруднены из-за невозможности зондирования внутренних сигналов в СБИС. Поэтому почти все проектирование СБИС в значительной степени зависит от моделирования. Самый известный симулятор аналоговых схем — SPICE. Самые известные симуляторы цифровых схем используют модели схемы на языках Verilog и VHDL.

Симуляторы цифровых схем используют модели схем, принадлежащие к классу логических моделей. Особенностью логического моделирования является то, что в качестве моделей схем (компонентов) используются непосредственно их законы функционирования, заданные на языке описания аппаратуры. Способ

представления модели определяет тип процедуры моделирования. Для симуляции поведения разрабатываемой схемы требуется описание модели источника входных воздействий — окружающей среды. Эффективное использование метода логического моделирования предполагает разработку кроме модели самой схемы модели окружающей среды (испытательного стенда — test bench). Обе эти модели используются симулятором совместно. Симуляторы электронных устройств интегрируют редактор схем, механизм моделирования и средство экранного отображения формы сигнала. Механизм моделирования (собственно симулятор) отделен от средства отображения формы сигнала, что позволяет модифицировать симулятор заменой механизма моделирования с другим языком представления моделей.

Использование языка ПРАЛУ [1] описания устройств с параллелизмом поведения дает возможность задавать временную упорядоченность событий, возникающих при работе системы целиком (схемы и ее окружения), абстрагируясь от всех деталей, кроме тех, что выражаются причинно-следственными и временными отношениями. Язык ПРАЛУ дает возможность описать поведение иерархически, отражая структуру частей системы и организацию их взаимодействия.

II. БАЗА ДАННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Программа моделирования сохраняет результаты в специальной базе данных. Это позволяет анализировать результаты моделирования отдельно посредством просмотра формы сигналов. Разработчики СБИС используют программу просмотра формы сигнала с целью визуализации поведения сигналов во времени и анализа взаимосвязи этих сигналов с другими сигналами. Средства просмотра формы сигналов из состава промышленных и свободных САПР позволяют увеличивать и уменьшать масштаб временной последовательности и выполнять измерения между двумя точками курсора. Распространенным форматом представления такой базы яв-

ляется файловый формат VCD (value change dump) [2]. Истории изменения сигналов, хранящиеся в базе в формате VCD, можно впоследствии просмотреть с помощью инструмента просмотра формы сигналов. Стандарт для формата VCD является частью стандарта IEEE для языка описания оборудования Verilog.

Первой частью файла VCD является заголовок, в котором есть два основных компонента: базовые метаданные файла и объявления переменных. Пробелы используются для разделения команд и для того, чтобы сделать файл более удобочитаемым. Основные метаданные файла идентифицируют программу или версию программы симуляции, которая создала файл VCD, а также дату создания базы и используемую временную шкалу. В следующем разделе заголовка объявляются сигналы, история изменения которых зафиксирована в базе. От конца заголовка до конца файла находится раздел данных. Этот раздел содержит два типа строк: строка момента фиксации сигналов и строки значений сигналов, изменяющихся в этот момент.

Формат VCD является текстовым форматом. Файлы VCD могут быть графически отображены с целью их анализа с помощью средства просмотра формы сигналов. Распространенным инструментом для этой цели является программа GTKWave [3], являющаяся свободным программным обеспечением.

III. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА ПРАЛУ

Алгоритмы на ПРАЛУ конструируются из операций ожидания и действия. Содержательный смысл этих операций может быть довольно произвольным. Формально в описании языка ПРАЛУ [1] функции этих операций не определены, вместо этого регламентируются условия их завершения. С завершением операции связывается наступление некоторого события в пространстве переменных алгоритма. Причем для операции ожидания событие в пространстве переменных служит причиной завершения операции, а для операций действия, наоборот, завершение операции вызывает определенное событие в пространстве переменных. Все переменные алгоритма на ПРАЛУ являются булевыми. События, связанные с завершением операций, должны быть представимы конъюнкциями переменных алгоритма. Эти конъюнкции составляют основу выражения языка ПРАЛУ, представляющего операцию.

В модели уровня транзакций цепочки ПРАЛУ интерпретируются как процессы, и требуется уточнение семантики операций ожидания

и действия, так как в этом случае они оказываются не элементарными. Суть уточнения состоит в организации вычислений таким образом, чтобы линейный порядок реализации операций алгоритма являлся доопределением частичного порядка, задаваемого исходным параллельным алгоритмом. При этом параллелизм понимается как возможность упорядочивать операции произвольным образом. В такой интерпретации алгоритмы на ПРАЛУ обладают свойством линейризуемости, т.е. результат параллельного выполнения операций ПРАЛУ эквивалентен некоторому последовательному выполнению. Доопределение операций ожидания и действия в модели уровня транзакций производится представлением их в виде композиций более простых операций промежуточного языка, выполняемых строго последовательно.

Преобразование представления алгоритма на ПРАЛУ в программу симулятора выполняется однопроходным текстовым преобразователем, конвертирующим операторы промежуточного языка в вызовы процедур в синтаксисе языка C. Эффективность построенной таким образом программы можно оценить на примере реализации одной из самых трудоемких операций промежуточного языка – операции приостановки. Работа, выполняемая этой операцией, заключается в запоминании адреса следующего вызова процедуры в стеке данных и переходе к выполнению процедуры, адрес которой извлечен из стека возвратов. Компилятор C строит для выполнения этих действий фрагмент кода, состоящий всего из двух машинных команд. Программа симулятора алгоритмов на ПРАЛУ сохраняет результат моделирования алгоритма в формате VCD.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана программа моделирования описания поведения цифровых устройств на языке параллельных алгоритмов управления ПРАЛУ, которая сохраняет результат моделирования в формате VCD. Разработанная программа может использоваться в процессе проектирования СБИС с использованием известной промышленной системы моделирования Modelsim.

V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закревский, А.Д. Параллельные алгоритмы логического управления / А.Д. Закревский. - Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 1999. - 202 с.
2. Bergeron, J. Writing Testbenches: Functional Verification of HDL Models 2nd Edition / J. Bergeron. - Springer, 2003. - 508 p.
3. GTKWave – A Free VLSI/CAD System [Электронный ресурс] / <https://gtkwave.sourceforge.net/>.

АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ РАБОТЫ ОРОТРОНОВ И ИХ МОДИФИКАЦИЙ

Гуревич А. В.

Кафедра вычислительных методов и программирования, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: gurealex@bsuir.by

Разработана методика расчета электронного потока в оротронах и их модификациях, предоставляющая гибкие возможности для визуализации траекторий электронов и оптимизации работы прибора в целом и отдельных его элементов.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с развитием компьютерной техники, при проектировании СВЧ приборов все шире применяется численное моделирование с автоматической оптимизацией параметров. При этом современные технологии предоставляют невиданные прежде возможности для визуализации полученных результатов.

К числу перспективных генераторов и усилителей СВЧ колебаний миллиметрового и субмиллиметрового диапазона относятся оротрон и его модификации – орбитрон и клиноорбитрон. Исследования и расчеты этих приборов уже в течение длительного времени ведутся на кафедре ВМиП БГУИР. Для этой цели здесь разработан ряд программ, среди которых следует отметить программу «Proptim» и ее усовершенствованную модификацию «Klinotron». Первоначальные версии программы «Proptim» последовательно разрабатывались коллективом авторов на кафедре ВМиП БГУИР и применялись при подготовке ряда статей и докладов на конференциях [1,2]. При этом, однако, не описывались детально алгоритмы и программные средства, используемые для численного моделирования электронного пучка.

Последние версии обсуждаемой программы были разработаны докладчиком (включая создание ее варианта «Klinotron») и предоставляют пользователям новые возможности: учет взаимодействия между электронами пучка; визуализация траекторий отдельных частиц и слоев; моделирование усложненных схем СВЧ приборов, в т.ч. клиноорбитрона. Результаты работы некоторых из них нашли применение в [3–6].

1. СХЕМА РАСЧЕТА

Для расчета работы прибора необходимо решить самосогласованную задачу расчета полей в рабочем объеме прибора и проходящего через них электронного пучка. При этом поле представляет собой сумму поля электромагнитной СВЧ волны, постоянного магнитного поля (создаваемого внешним магнитом) и поля электронного пучка.

Электронный поток, как и в предыдущих версиях программы, разбивается на условные «крупные частицы» [5]. Исследуется нерелятивистский случай, поэтому рассматривается действие на электроны лишь электрического поля и постоянного внешнего магнитного поля. При этом взаимодействие между электронами считается статическим, но не чисто кулоновским, т.к. необходим учет зарядов, наводимых электронным пучком в проводниках (соблюдение граничных условий).

Расчет полей выполняется методом сеток [7], отдельно для СВЧ поля волны (основной гармоники) и для статического поля крупной частицы. Чтобы сократить время расчета, поля вычисляются заранее и записываются в файлы, при этом перебираются всевозможные положения крупной частицы (с учетом симметрии системы).

Далее движение крупной частицы описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями (ОДУ) на основе законов электродинамики. Поля интерполируются по ближайшим узлам сетки. При выходе частицы за пределы рабочего объема (столкновения с внутренней поверхностью прибора) она считается поглощенной. В программе предусмотрен контроль на случай, если отдельные частицы затормозятся практически полностью (что означало бы выход за границы применимости модели). Решение ОДУ выполняется методом Рунге-Кутты 4-го порядка [7].

В качестве независимой переменной ОДУ, как и в предыдущих работах [1,2], выбрана координата по оси движения электронного пучка, время же становится вычисляемой переменной для каждой частицы. Такой выбор не только упрощает расчет влияния поля, но и позволяет ограничиться рассмотрением лишь тех крупных частиц, которые вошли в прибор за один период СВЧ волны: в последующие периоды установившееся движение частиц будет точно таким же. Зато он усложняет расчет взаимодействия частиц: обе взаимодействующие частицы должны рассматриваться в один и тот же момент времени. Поэтому для частиц, воздействующих на рассматриваемую, приходится вычислять их поло-

жение в соответствующий момент времени. При этом вычислении их скорости считаются постоянными, что вполне допустимо для таких коротких интервалов. Если разность времен оказывается больше периода волны, берется ее часть, меньшая периода (т.е. пренебрегается взаимодействием далеких частиц, пролет которых разделен временем, большим периода волны).

Энергия, теряемая частицами при взаимодействии с СВЧ полем волны, полагается равной энергии, приобретаемой этим полем. А энергия, приобретаемая полем за период его колебаний, должна быть равна полной энергии поля, деленной на заданную добротность – что позволяет замкнуть самосогласованную задачу [3].

В программе предусмотрена автоматическая оптимизация параметров прибора, при этом в качестве целевой функции оптимизации выбирается КПД – определяемый как доля энергии пучка, переданная полю. Оптимизация выполняется методом Нелдера-Мида.

II. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассматриваемая программа разработана с помощью IDE Borland Delphi. Большинство исходных параметров модели хранится в файле и выводится на экран в виде таблиц. Пользователь может менять их в интерактивном режиме перед каждым запуском моделирования. Результаты расчетов выводятся на экран в виде текста и графиков. На рис. 1 приведен пример основной вкладки программы.

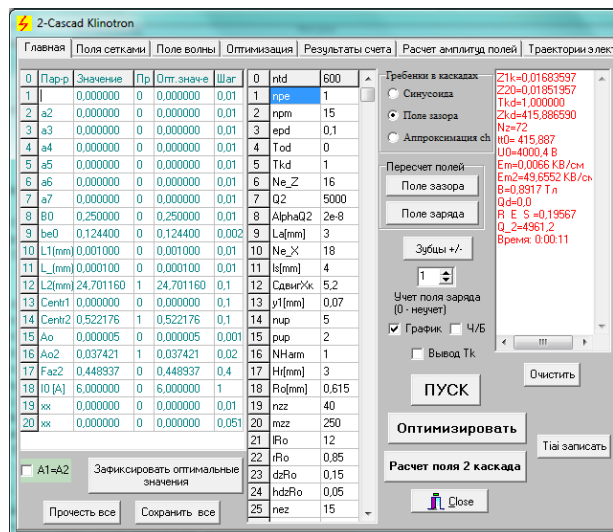


Рис. 1 – Ввод данных и вывод результатов

Программа позволяет визуализировать траектории отдельных «крючков частиц» в форме разноцветных кривых. Ввиду большого количества этих частиц, пользователю предоставляется возможность выбирать номера интересующих его частиц либо целых слоев пучка, тип выводимой информации, а также увеличивать масштаб любого участка построенного графика с помощью мыши (см. рис. 2). Подобная информация дает возможность оценивать эффектив-

ность прибора не только в целом, но и на отдельных этапах (участках гребенки, фазах поля и т.д.), что открывает дополнительные возможности для его усовершенствования.

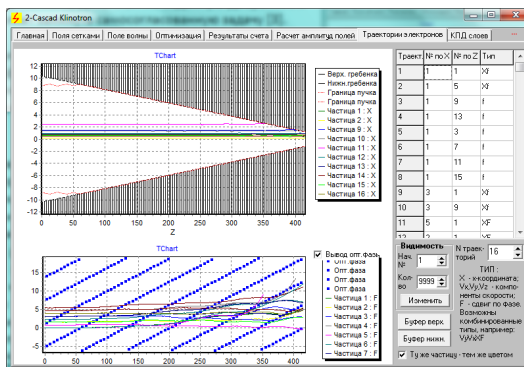


Рис. 2 – Визуализация выбранных траекторий электронов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные вычислительные алгоритмы и интерактивные методы графической визуализации результатов реализованы программно. Доказана их пригодность для моделирования, ручной и автоматической оптимизации параметров ряда СВЧ приборов, в т.ч. оротронов, орбитронов и клиноорбитронов. В перспективе, возможно расширить их применение и для разработки других типов СВЧ приборов.

1. Кравченко, В. Ф. Оптимизация закона изменения фазовой скорости волны вдоль гребенки оротрона на основе атомарных функций / В. Ф. Кравченко, А. А. Кураев, А. К. Сеницын, А. И. Шакирин // Электроматнитные волны и электронные системы. – 1999. – Т. 4, № 5. – С. 33–37.
2. Еремка, В. Д. Атомарные функции в задаче оптимизации по КПД двухпучкового оротрона с нерегулярной двоянной гребенкой / В. Д. Еремка, В. Ф. Кравченко, А. А. Кураев, В. И. Пустовойт, А. К. Сеницын // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2000. – № 3. С. 58–62.
3. Гуревич, А. В. Двухкаскадный орбитрон – усилитель и умножитель частот / А. В. Гуревич, В. Д. Еремка, В. Ф. Кравченко, А. А. Кураев, А. К. Сеницын // Успехи современной радиоэлектроники. – 2007. – № 10. – С. 64–69.
4. Yeryomka, V. D. Klinoorbictron –terahertz range oscillator / V. D. Yeryomka, A. V. Gurevich, A. A. Kurayev, A. K. Sinityn // 2010 INTERNATIONAL KHARKOV SYMPOSIUM ON PHYSICS AND ENGINEERING OF MICROWAVES, MILLIMETER AND SUBMILLIMETER WAVES. – IEEE, 2010. – С. 1-3.
5. Еремка В. Д. Орбитрон-генератор: модель и результаты расчета в диапазоне 180 ГГц / В. Д. Еремка, А. А. Кураев, А. К. Сеницын // Радиофизика и электроника. – 2013. – Т. 4 (18), № 4. – С. 63–72.
6. Еремка В. Д. Применение клиноорбитронного эффекта в вакуумных источниках терагерцевых электромагнитных колебаний / В. Д. Еремка, О. Ф. Пишко // Радиофизика та електроніка. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 9–39.
7. Сеницын, А. К. Современные информационные технологии. Проекционно-сеточные методы решения уравнений математической физики. / А. К. Сеницын. – Минск: БГУИР, 2004. – 55 с.

ИГРОВАЯ АНАЛИТИКА

Гуревич О. В., Коршикова Д. В., Кукин Д. П., Шатилова О. О.

Кафедра вычислительных методов и программирования, Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: o.gurevich@bsuir.by, korshikova@bsuir.by, kukin@bsuir.by, o.shatilova@bsuir.by

В статье рассматриваются важность игровой аналитики и аналитическая система.

ВВЕДЕНИЕ

Аналитика - это процесс сбора данных с целью получения из них значимой информации. Аналитика крайне важна для любого проекта вне зависимости от его размера и прибыльности. Это неотъемлемая часть успешного программного продукта, которое будет снабжать актуальной информацией. Аналитика поможет найти все достоинства и недостатки проекта, раскрывает его сильные и слабые стороны.

I. ЗАЧЕМ НУЖНА АНАЛИТИКА ИГР

Аналитика позволяет оперативно найти причины, которые заставляют пользователей выходить из игры, выявляют группу риска и на основе сведений, фиксируемых в ежедневных отчетах, вырабатывают стратегии, позволяющие удержать игроков. Для оптимизации продукта используются аналитические приложения. Однако, помимо внешних систем, аналитики могут применять и внутренние, разработанные для решения конкретных задач программы.

II. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИГРОВОЙ АНАЛИТИКИ

В современной игровой индустрии невозможно создать успешный проект без обработки больших массивов информации. Для проектирования и поддержки продуктов, написания маркетинговых стратегий и монетизации применяется множество инструментов игровой аналитики: в рамках одного проекта их может быть сразу несколько, все зависит от поставленной цели.

В задачи аналитика входит написание стандартов для сбора данных, продумывание способов их обработки и прогнозирование вероятных проблем.

Кроме того, на основе полученных данных нужно еще и обосновать изменения в проекте – как возможно устранить трудности, почему, какими цифрами это можно подтвердить и как проверить, что изменения улучшили ситуацию. Также есть вторичные цели, но не менее важные такие как удобство использования, прозрачность выходных данных, простота обработки входных данных, достоверность и единообразие с данными партнеров. Иногда в рамках проекта приходится реализовать с нуля практически всю систему отслеживания показателей - участие в этом

процессе могут принимать разработчики, маркетологи, геймдизайнеры и продюсеры.

III. ИНСТРУМЕНТЫ ИГРОВОЙ АНАЛИТИКИ

Обычно чем старше проект, тем больше данных обрабатывается внутренними средствами – с ростом сложности задач растут и требования к объему и структуре информации.

Некоторые аналитики стремятся следить за каждым шагом своих пользователей, записывая все их действия на каждом этапе. Все полученные данные передаются в аналитическую систему. Однако нет гарантии, что аналитик сможет ответить на все заданные ему вопросы.

Другие аналитики делают наоборот – отслеживают какие-то базовые метрики вроде платежей и сессий. Когда что-то происходит, они не могут ответить ни на какие вопросы и смотрят, как падают метрические показатели, не имея возможности их проанализировать, найти причину и исправить.

Это два противоположных сценария, которые случаются довольно часто. Понятно, что и то, и другое плохо, и нужно найти сбалансированный подход, при котором аналитик пропускает только важные события и при этом уверен, что все ключевые действия пользователя включены, передаются в систему аналитики и доступны для анализа.

IV. АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Можно подумать, что идеальная аналитическая система – это набор автоматов, которые анализируют данные и принимают обоснованные решения, но, к сожалению, это не так.

Рассмотрим основные функции аналитической системы.

1. Расчет прибыли. Есть базовая формула, которая поможет рассчитать прибыль. Общий доход = $LTV * \text{Активные пользователи}$, где LTV - это пожизненная ценность. LTV рассчитывается по формуле: $LTV = \text{Lifetime} * \text{ARPPDAU}$, где Lifetime - среднее время пребывания пользователя в проекте, ARPPDAU - средний доход на одного активного пользователя в день (рассчитывается для бесплатных и премиум-пользователей вместе взятых). Все это означает, что, если разработчик хочет, чтобы пользователь

приносил больше дохода, ему нужно максимизировать две ценности - время жизни этого пользователя и сумму денег, которую он приносит;

2. Увеличение срока службы. Если игра идеальна, геймеры будут играть в нее каждый день. Если они не играют в нее каждый день, значит, она не идеальна. Есть много возможностей для улучшения этой ситуации, и целью аналитика является выяснение ее слабых мест и подбор методов исправления. Поиск узких мест следует начинать с первого знакомства пользователя с продуктом - его первой сессии. Первая сессия оказывается последней для огромного количества пользователей. Допустим, вчера появилось 100 новых пользователей. Но только 10 из них открыли приложение сегодня. Это означает, что уровень удержания составляет 10%. Это относительно низкое число, поскольку эталонный процент составляет 30%. В результате нужно понять первопричину проблемы, которая, как правило, кроется где-то в первом опыте пользователя с продуктом. Это означает, что аналитическая платформа должна давать инструменты как для оценки всех необходимых показателей, так и для точного определения момента, когда пользователи уходят. В этом случае можно использовать воронки, и было бы идеально построить подробную воронку для первого сеанса. Разработчику нужно разбить первую сессию на ряд шагов или стадий, затем платформа аналитики создает воронку и уже после этого разработчик или аналитик может найти проблемные стадии. Если есть необходимость улучшения процесса, можно разделить всех пользователей на небольшие группы по общему признаку и построить для них отдельные воронки. Если проблема с удержанием коэффициента отсутствует, но пользователи покидают приложение через несколько дней, то необходимо выяснить причину. В таком случае аналитическая система должна иметь возможность построения графика удержания по дням, уровням, ранжированию и так далее. Тогда на графике можно будет увидеть какую-то аномалию, которая поможет понять проблему. Чтобы построить воронку пользовательского опыта нужно определить почему пользователь отказывается от приложения в день N, что произошло до этого. Возможно, они застряли на определенном уровне или они столкнулись с

технической проблемой. И снова разработчик должен интегрировать ключевые события, а система аналитики должна использовать эти события для построения воронок и выявления узких мест. Так или иначе, на этапе максимизации Lifetime разработчики ищут свои собственные ошибки: несовершенные моменты, которые расстраивают пользователя и заставляют его уйти навсегда;

3. Увеличение ARPPDAU. Чтобы максимизировать время жизни необходимо проанализировать ошибки разработчиков, но, чтобы максимизировать ARPPDAU (средний доход на одного пользователя в день), необходимо проанализировать достижения. Нужно хорошо понимать, почему тот или иной пользователь совершил покупку и сможет ли разработчик искусственно создать такую же среду для других игроков, чтобы им тоже пришлось платить. Здесь смогут помочь следующие метрики и статистика: данные о платежах, данные о платежах-конверсиях, средний чек, регулярные платежи, самые востребованные товары и так далее. Нужно учитывать ситуацию, в которой находится персонаж игрока на момент покупки: его уровень, количество внутриигровой валюты, выполненные задания и так далее.

V. Вывод

Лучшее преимущество аналитической системы заключается в том, что можно сравнивать характеристики всех связанных с ним проектов и давать обобщенный обзор разработчикам, которые не знают текущей ситуации на рынке и нуждаются в каких-то контрольных точках сопоставления. Система может оценить приложение на основе информации обо всех продуктах этого жанра. Достаточно будет сообщить разработчику, что у него хороший ARPPDAU, но показатель удержания не так высок, как мог бы быть. Это действенный призыв к действию, который поможет улучшить продукт и увеличить доход.

VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jesse Shell The art of desing / J. Shell – 2019. – 640 с.
2. How to Integrate an Analytics System into your Game [Электронный ресурс] / How to Integrate an Analytics System into your Game. – Режим доступа: <https://www.devto.dev.com>. – Дата доступа: 28.09.2022.
3. How to Find a Perfect Analytics Platform for a Game Project [Электронный ресурс] / How to Find a Perfect Analytics Platform for a Game Project. – Режим доступа: <https://www.devto.dev.com>. – Дата доступа: 10.10.2022.

АЛГОРИТМЫ РАСТРОВОЙ ГРАФИКИ

Гуревич О. В., Шатилова О. О., Кукин Д. П., Коршикова Д. В.

Кафедра вычислительных методов и программирования, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

E-mail: {o.gurevich, o.shatilova, kukin, korshikova}@bsuir.by

Статья посвящена обзору алгоритмов построения растровой графики на примере алгоритма Брезенхема для прямой, а также его модификации для построения кривых второго порядка.

ВВЕДЕНИЕ

Компьютерные технологии в современном мире присутствуют практически во всех сферах жизнедеятельности человека. Практически вся визуальная информация является результатом проектирования с помощью 2D и 3D графики: телевизионная реклама, продукция кино- и телеиндустрии, игровых приложения. Компьютерная графика предоставляет человеку принципиально новые возможности работать с привычным для него трехмерным пространством, а не с его двумерными проекциями, что существенно упрощает порой создание физического экземпляра модели.

I. ВИДЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

В настоящее время принято выделять три вида графики: растровую, векторную и фрактальную. Для растровой графики основным элементом изображения является пиксель – минимальный по размеру логический элемент цифрового изображения, для векторной – линии. Для фрактальной графики характерно бесконечное повторение самоподобных геометрических фигур, каждая из которых уменьшается в масштабе. Иногда в отдельный вид графики выделяют трехмерную, которая отличается от двумерной тем, что подразумевает построение проекций трехмерной модели сцены на плоскость. Для описания геометрических объектов используют такие объекты и их свойства как прямые и плоскости, кривые, поверхности, кривизна линий на плоскости, криволинейные координаты. Поэтому смело можно утверждать, что компьютерная графика в части описания геометрических объектов в лице аналитической геометрии имеет достаточно мощный, готовый к использованию математический аппарат, позволяющий определять точки пересечения линий, поверхностей и линий и так далее.

II. БАЗОВЫЕ АЛГОРИТМЫ РАСТРОВОЙ ГРАФИКИ

Для рисования линий в растровой графике отвечают алгоритмы, которые учитывают соответствие координат начала и конца отрезка заданным параметрам, которые при отображении должны быть похожими на прямые. Однако,

в силу дискретности дисплея этого трудно достичь, поэтому растровые алгоритмы преследуют цели воспроизведения максимального правдоподобия при минимальных ресурсозатратах. Самым прямым способом получения простейшего графического примитива, линии отрезка с координатами начала и конца (x_0, y_0) и (x_1, y_1) соответственно, является способ непосредственного получения координат через уравнение $y = F(x); y = y_0 + (x - x_0) \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right)$. Для минимизации количества операций в цикле целесообразно получить коэффициент наклона линии до расчетов координат точек прямой $k = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right)$. В таком случае в цикле получения координат пикселей остается вычисления $y_+ = k * x$. Однако, такой способ является неточным за счет накопления ошибок округления при реализации операций деления и умножения, поэтому в 1962 американец Джек Брезенхем предложил алгоритм, который минимизирует накопления ошибок за счет введения параметра принятия решения и, соответственно, в цикле по расчету текущих координат остаются лишь целочисленные координаты. Положение пикселей на прямой определяется разбиением на единичные отрезки по координате x , если тангенс угла наклона прямой больше единицы по модулю, либо по y в обратном случае. В точке выбора координаты следующего пикселя проводится утрированный расчет расстояния до условно нижнего и верхнего предполагаемого пиксели и на основании полученных результатов производится выбор (см. рис. 1).

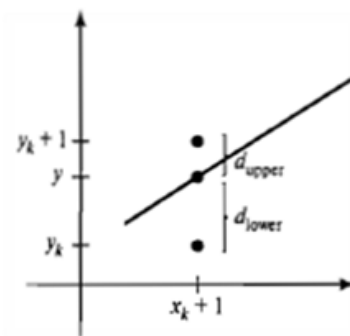


Рис. 1 – Графическая интерпретация расчета расстояния

В общем виде алгоритм Брезенхема для построения прямой с тангенсом угла наклона больше единицы по модулю выглядит следующим образом:

1. Вводятся два конца отрезка, пометая левый конец отрезка как (x_0, y_0) ;
2. Вычисляются постоянные ΔX , ΔY , $2 \cdot \Delta Y$ и $2 \cdot \Delta X$ и находится начальное значение параметра принятия решения $p_0 = 2 \cdot \Delta Y - \Delta X$;
3. для каждого x_k вдоль прямой, начиная с $k = 1$, производятся проверки: если $p_k < 0$, то следующую точку следует изобразить на месте пикселя (x_{k+1}, y_k) и $p_{k+1} = p_k + 2 \cdot \Delta Y$; если $p_k > 0$, то следующую точку следует изобразить на месте пикселя (x_{k+1}, y_{k+1}) и $p_{k+1} = p_k + 2 \cdot \Delta Y - 2 \cdot \Delta X$;
4. п.3 выполняется $\Delta X - 1$ раз.

Существует обобщение алгоритма Брезенхема для построения кривых второго порядка, в частности окружности и эллипса. Окружность определяется как набор точек, равноудаленных от центра (x_c, y_c) на радиус r . Расчет координат можно производить непосредственно через уравнение окружности либо находить через полярные координаты, однако такие подходы приводят к большому объему ресурсозатратных расчетов с вычислением либо корней квадратного уравнения либо к привлечению внешних функций по поиску синусов и косинусов.

Поэтому, взяв за основу алгоритм Брезенхема, был выведен алгоритм получения координат криволинейного участка, соответствующего окружности и эллипса с учетом того, что имеет кривизна.

В случае с окружностью принимается в расчет симметричность фигуры и все расчеты ведутся в первом октанте с последующим отображением полученных координат в оставшиеся семь октантов (см. рис. 2).

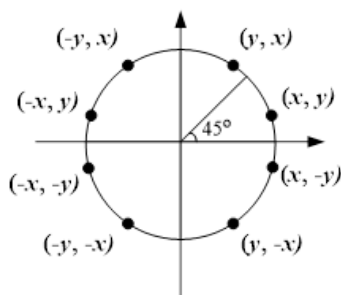


Рис. 2 – Симметрия октантов окружности

Для окружности параметр принятия решения рассчитывается для определения возможности перехода на нижнюю горизонталь по ординате.

Для эллипса измененный алгоритм Брезенхема учитывает изменение скорости роста соответствующей координаты. Все расчеты ведутся в первой четверти декартовой системы координат вначале на априорно изменяющемся x , а затем в момент, когда тангенс угла наклона касательной к эллипсу становится равным единице, ведущая координата заменяется на y и решение об изменении принимается уже по абсциссе. Далее полученные координаты отображаются в оставшиеся три четверти (см. рис. 3).

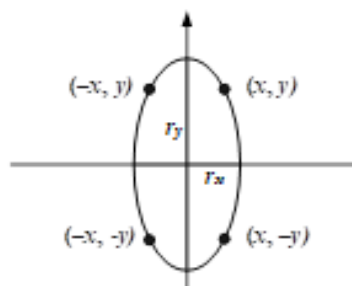


Рис. 3 – Симметрия эллипса

При реализации всех модификаций алгоритма Брезенхема для построения примитивов наряду с непосредственным расчетом координат соответствующих пикселей, как правило проводятся расчеты по аппроксимации цвета заливки примитива, чтобы сделать изображение максимально реалистичным.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные алгоритмы построения растровой графики не являются полным списком, но дают представление о том, как можно применять математические модели при проектировании компьютерной графики. Наряду с решением проблемы построения изображения, такие алгоритмы дают основу для создания алгоритмов сканирования, отсечения, удаления поверхностей и линий, а также закраски, определения текстур создаваемых геометрических объектов и управления их прозрачностью.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольф, Д. OpenGL 4. Язык шейдеров. Книга рецептов / Д. Вольф // N. Engl. J. Med. – 2015. – 368 с.
2. Сиденко, Л. А. Компьютерная графика и геометрическое моделирование: учеб. пособие / Л. А. Сиденко. – СПб.: Питер, 2009. – 224 с.

AUTOMATED APPLICATION FOR LARGE SAMPLE PROCESSING

Gusev S., Gudkov A., Sharonava A.
 Department of Information Technologies Automated Systems,
 Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
 Minsk, Republic of Belarus
 E-mail: {st.a.l.gusev, gudkov.bsuir}@gmail.com, seizv@bsuir.by

The statement of the Central Limit Theorem is modeled on the example of large samples of the Laplace and the beta distributions using Python toolkit and the advanced capabilities of Jupyter Notebook.

INTRODUCTION

The law of Large Numbers and the Central Limit Theorem (CLT) are a generalization of the thought processes of mankind over the past two centuries [1]. Consequently, the authors decided to consider in detail the CLT which sometimes it is not always possible to find its graphical representation. In this regard, authors conducted a study to verify the following statement [2]: if there is a random variable (RV) X from almost any distribution, and samples of volume N are randomly formed from this distribution, then the distribution of sample averages can be approximated by a normal distribution with an average value that coincides with the expected value of the outcome population.

I. TOOLKIT

The task is to model the distribution of the RV's sample mean X at different sample volumes and estimate its approximation with a normal curve. To conduct the experiment authors chose Laplace and beta distributions from which the samples will be randomly formed [3]. The formation of samples, the calculation of their averages, the construction of graphs and histograms is carried out using the *Python* library toolkit: *scipy* module of statistical functions *scipy.stats*, *numpy*, *matplotlib*.

II. LAPLACE DISTRIBUTION

Let us first consider the Laplace distribution of a continuous RV X , the expected value and variance of which is calculated as follows:

$$E[X] = \lambda. \quad (1)$$

$$D[X] = 2 * b^2. \quad (2)$$

Here λ is a location parameter and $b > 0$ is a scale parameter. In our case $\lambda = 0$, $b = 50$. Using the statistical functions module of the *scipy* library, an instance of the *laplace_gen* class is created with parameters corresponding to the above. It's called *laplace_rv* and used for the entire study regarding the Laplace distribution. From this distribution, we will select 100 pseudo-random values. This is easy to do by calling the *rvs()* method with the sample size parameter. Also calling *plot()* function (from *matplotlib*) and *pdf()* method (from

scipy.stats) we build Theoretical Probability Density Function (TPDF) and compare the obtained sample results in the form of a histogram with the TPDF graph of which corresponds to the blue line in Figure 1.

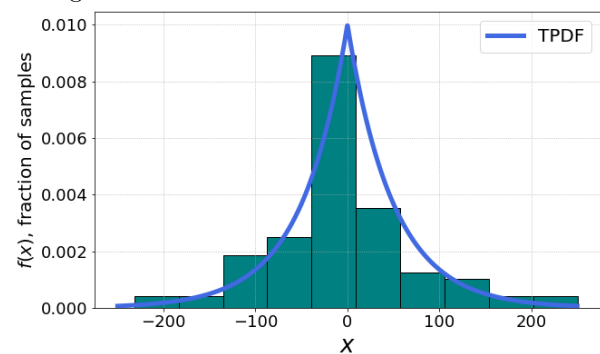


Figure 1 – The Laplace distribution with sample volume of 100

Next, and this is the most important thing. For three or more values of N , 1000 samples of volume N are generated, the arithmetic mean is calculated for each sample. A histogram of the obtained sample means is constructed and a density graph of the corresponding normal distribution is superimposed on top of it with parameters:

$$\mu = E[X]. \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{D(X)}{N}}. \quad (4)$$

Authors implemented the *buildHistNormCurve(ax, N, hCol)* function for generating a normal distribution and visualizing histograms with normal curve according to the sample size parameter N [4].

```
def buildHistNormCurve(ax, N, col):
    # list of sample means
    los = np.array([np.mean(l_rv.rvs(N)) for i in range(1000)])
    # normal distribution
    norm_rv = sts.norm(expected_value, (variance/N)**0.5)
    # normal curve construction
    x = np.linspace((-250 / N**0.4), (250 / N**0.4), 1500)
    pdf = norm_rv.pdf(x)
    ax.plot(x, pdf, lw=5, color='dodgerblue')
    # histogram
    ax.hist(los, bins=15, density=True, edgecolor='0', color=col)
    ax.grid(ls='dotted')
    # underline
    ax.set_xlabel('TPDF and Hist for N = ' + str(N), fontsize=14)
```

Figure 2 – Build histogram with normal curve function

Let's call it 4 times with the following values of sample volume N : 3, 10, 50, 500. We get the results shown in figure 3.

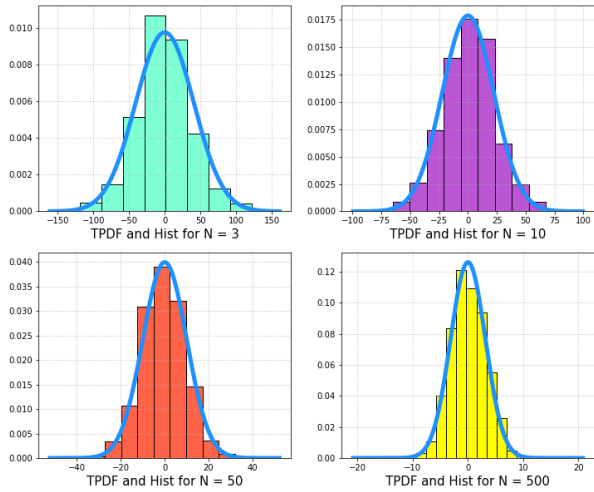


Figure 3 – The result of CLT on the Laplace

III. BETA DISTRIBUTION

Also consider the beta distribution with the following numerical characteristics:

$$E[X] = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}. \quad (5)$$

$$D[X] = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)}. \quad (6)$$

Where $\alpha > 0$, $\beta > 0$. The appearance of the TPDF graph can vary greatly depending on the above parameters: from similar to an exponent and a parabola to an unusual curve, which we use, since it differs as much as possible from a normal curve. Let's define this distribution with $\alpha = \beta = 0.7$. In the case of a beta distribution, an instance of the *beta_gen* class is created. Then the TPDF and the histogram of the sample volume 100 takes the form as in figure 4.

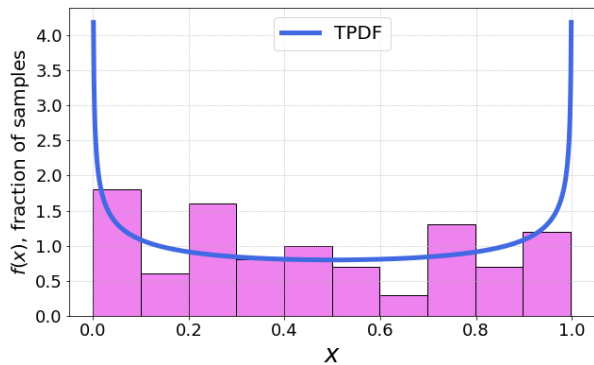


Figure 4 – The beta distribution with sample volume of 100

Having done the same actions with the samples as the previous paragraph, we obtain the following distributions of sample means.

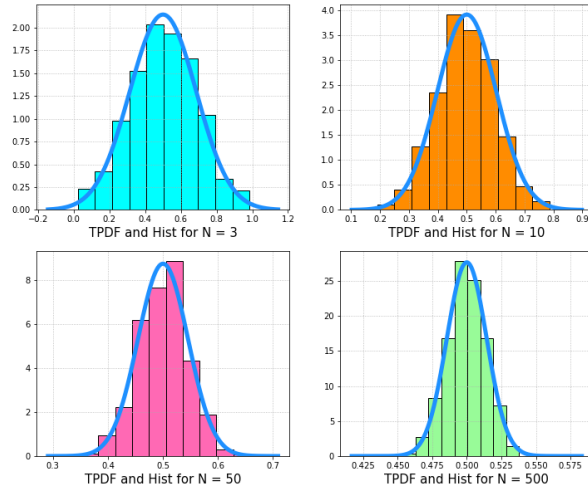


Figure 5 – The result of CLT on the beta

If to compare the beta and the Laplace distributions by criteria of graphical representations (figures 1, 4) and formal ones (formulas 7, 8) they exactly differ.

$$f(x) = \frac{1}{2b} \exp\left(\frac{-|x - \lambda|}{b}\right). \quad (7)$$

$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}. \quad (8)$$

But it doesn't matter how they're distant from the Gaussian, because the CLT gives an output distribution close to normal [5]. Moreover, the larger the sample size, the more accurate the approximation.

CONCLUSION

In accordance with the graphical representation of the results, the following pattern is well traced: with an increase in the sample size, the degree of approximation of the distribution of sample averages with a normal distribution also increases and there is a concentration of pseudo-random variables around the mathematical expectation of the initial distribution, which justifies the statement of the CLT, therefore principle of increasing entropy from a statistical point of view has led us to a fundamental conclusion: all closed macrosystems tend to move from less probable to more probable states.

REFERENCES

1. Hawking, S. The Theory of Everything / S. Hawking. – Phoenix Books and Audio, 2005. – 148 p.
2. Вентцель, Е. В. Теория вероятностей / Е. В. Вентцель. – Москва: «Высшая школа», 2006. – 578 с.
3. Murphy, K. P. Machine learning: a probabilistic perspective / K. P. Murphy. – The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England, 2012. – 1098 p.
4. Chung, K. L. A Course in Probability Theory / K. L. Chung. – Academic Press, 2001. – 419 p.
5. Introduction to Probability and Statistics for Engineers [Electronic resource] / A. Shervine. – Stanford University, California, 2018. – Mode of access: <https://stanford.edu/~shervine/teaching/cme-106>. – Date of access: 22.02.2022.

ОБЗОР АЛГОРИТМА ГРАФИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ВОРОНОГО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУПП СКВАЖИН ПО ПРИНЦИПУ «НАГНЕТАТЕЛЬНАЯ – РЕАГИРУЮЩИЕ ДОБЫВАЮЩИЕ»

Якимов Е. П.

Кафедра вычислительной техники и инженерной кибернетики, Уфимский государственный нефтяной технический университет
Уфа, Российская Федерация
E-mail: ryanreymorris@gmail.com

При разработке и эксплуатации нефтяных месторождений важную роль играет структура взаимодействия между скважинами. От качественного определения взаимодействующих нагнетательных и добывающих скважин в значительной мере зависит решение следующих вопросов рациональной разработки месторождений: создание наиболее выгодной сетки размещения скважин, регулирование продвижения контура краевых вод, определение положения остаточных запасов углеводородов и грамотная оптимизация системы заводнения. В работе рассмотрен алгоритм определения групп взаимодействующих между собой скважин путем построения карт областей Вороного.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в нефтедобывающей отрасли с целью оптимизации анализа взаимодействия скважин проводится разделение всей площади залежи на блоки. Формирование блоков предполагает распределение всего фонда скважин на группы, по принципу «нагнетательная – реагирующие добывающие», на данном этапе определение реагирующих добывающих скважин производится геометрическим путем.

В работе [1] автор предлагает формировать группы на основании областей Вороного, где в качестве точек используется весь фонд скважин.

Недостаток данного метода проявляется при нерегулярной сетке эксплуатационных скважин. При высокой плотности сетки некое количество скважин может не попасть в группу к нагнетательной, даже при условии близкого расположения, и, наоборот, могут быть отнесены добывающие, на большом удалении.

А.А. Анкудиновым [2] был разработан метод группировки, позволяющий минимизировать риски получения нелогичных связей. Принцип формирования групп основан на построении двух карт областей Вороного.

I. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ВОРОНОГО

Построение областей Вороного предполагается производить следующим образом.

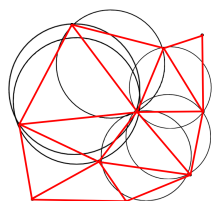


Рис. 1 – Триангуляции Делоне

Производится построение треугольников Делоне (см. рис. 1).

Вокруг треугольника, вершинами которого являются скважины, описывается окружность с условием что внутри неё не содержится прочих скважин.

В результате построения получим треугольники, внутри которых вписаны окружности, не содержащие точек. Триангуляция Делоне позволяет строить области Вороного избегая так называемых «тонких» треугольников.

Следующий шаг – построение областей Вороного. Алгоритм построения областей Вороного следующий.

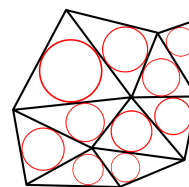


Рис. 2 – Определение вписанных окружностей

Вначале внутрь каждого из треугольников Делоне вписывается окружность (см. рис. 2).

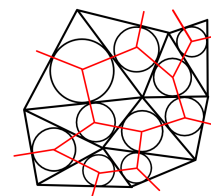


Рис. 3 – Соединение центров окружностей

Далее, центры вписанных окружностей соседних треугольников Делоне соединяются отрезками (см. рис. 3).

Полученные многоугольники, сосредоточенные вокруг конкретных скважин, и представляют собой области Вороного (см. рис. 4).

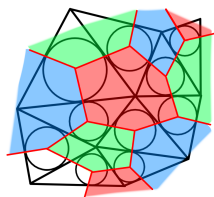


Рис. 4 – Области Вороного

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУПП ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ СКВАЖИН

С целью определения групп взаимодействующих скважин А.А. Анкудиновым был разработан метод, позволяющий минимизировать риски получения не логичных связей [2].

Принцип формирования групп основан на построении двух карт областей Вороного [3, 4]. Скважины объединяются в группы, если при совмещении данных карт условные области дренирования добывающих скважин пересекаются с условными областями закачки нагнетательных.

Первым этапом является построение областей Вороного по скважинам, имеющим накопленную закачку (нагнетательные скважины). Вторым этапом является построение областей Вороного по всему фонду объекта или залежи. Далее построенные области накладываются друг на друга, что и является формированием групп (см. рис. 5).

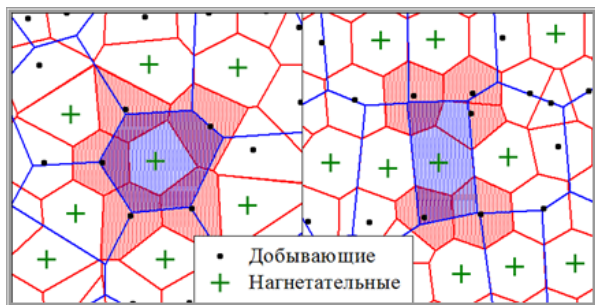


Рис. 5 – Формирование групп нагнетательных и добывающих скважин для площадной системы (слева) и для рядной (справа)

Данный метод является геометрическим способом определения зависимых добывающих скважин от закачки каждой нагнетательной скважины.

Рассматриваемый метод также имеет свои недостатки. Процесс построения областей Вороного, их наложения и последующего анализа достаточно затратен по времени. И без того сложные геометрические построения усугубляются спецификой нефтегазовой области, а именно большим объемом информации на входе. Бо-

лее того, при ручном выполнении построения областей имеется вероятность графических неточностей, которые в результате могут привести к большому вычислительному погрешностям

Определение групп реагирующих скважин необходимо производить отдельно для каждого пласта, количество которых может составлять более 10 для одной залежи. Также, количество скважин варьируется в широком диапазоне значений и в среднем составляет не менее 100-150 единиц добывающего и нагнетательного фондов. Так, например, фонд Самотлорского месторождения составляет 13904 скважины. Очевидно, что производить построение областей Вороного вручную крайне трудозатратно (см. рис. 6).

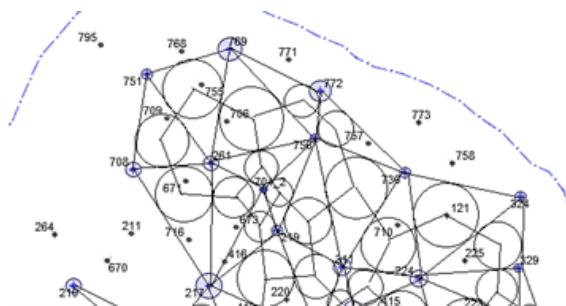


Рис. 6 – Ручное построение областей Вороного

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был рассмотрен алгоритм построения карт областей Вороного для определения групп взаимодействующих скважин. Применяемый метод позволяет обеспечить высокую представительность полученных данных о структуре взаимодействия между скважинами. Однако метод имеет свои недостатки, такие как сложность геометрических построений при большом количестве исходных данных, затратность по времени. С целью решения данной проблемы предлагается создание программного обеспечения, которое будет осуществлять не только построение двух видов карт, а также их последующее наложение и определение групп взаимодействующих скважин.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов, М. С. Компенсационное регулирование заводнения с целью повышения эффективности энергетического поля нефтяного пласта: дис. канд. техн. наук: 25.00.17. – Уфа, 2011. – 107 с.
2. Анкудинов, А. А. Совершенствование методов анализа системы заводнения и повышения эффективности закачки воды в нефтяной пласт: дис. канд. техн. наук: 25.00.17. – Тюмень, 2017. – 114 с.
3. Скворцов, А. В. Триангуляция Делоне и ее применение. Томск: Томский университет, 2002. – 128 с.
4. Реализация эффективного алгоритма построения диаграмм Вороного на плоскости / Карабцев С. Н., Рейн Т. С., Стуколов С. В. // Труды V Всероссийской научно-практической конференции «Недра Кузбасса. Инновации». Кемерово: ИНТ, 2006. – С. 114–120.

ОТКРЫТЫЙ УЧЕБНЫЙ ПРОЕКТ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Ласточкина Е. С., Лутковский В. М.

Кафедра смстемного анализа и компьютерного моделирования, Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь
E-mail: nikakun181@gmail.com, lutkovski@bsu.by

Рассмотрен коллективный проект биометрической системы с использованием платформы Arduino и микроконтроллеров семейства MSP430. Определены задачи пошагового выполнения основных этапов учебного проекта. Приведены примеры практической реализации в виде двух законченных устройств для тренировки ритма речи и контроля состояния студента при изучении иностранного языка.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и широкое использование интернета вещей требует подготовки квалифицированных специалистов, владеющих знаниями новейшей элементной базы, современных средств разработки встроенных систем и коммуникационных технологий [1]. Одна из проблем подготовки соответствующих специалистов, владеющих аппаратными средствами, обычно связана со сложившимися приоритетами большинства студентов: изучение веб-программирования считается более привлекательным в сравнении с изучением аппаратных средств и методов их проектирования. Другая проблема – при начальном обучении обычно ограничиваются механическим повторением стандартных проектов на уровне сборки систем из готовых узлов, входящих в наборы модулей Arduino, широко рекламируемых в сети [2], без углубления в их устройство и принцип действия. Цель данной публикации – поиск и демонстрация возможных подходов к решению указанных проблем путем привлечения внимания студентов к совместному проектированию оригинальных встроенных систем биометрического назначения, более гибкого планирования отдельных этапов разработки, а также путем использования современных образовательных технологий для формирования их индивидуальных и коллективных компетенций.

1. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

При проектировании встроенной системы наряду с выбором микроконтроллера прежде всего определяется тип используемых сенсоров.

Среди множества известных биометрических сенсоров, наиболее часто используемых во встроенных системах на базе Arduino, можно выделить группу резистивных датчиков (Таблица 1)

Таблица 1 – Резистивные датчики

N	Тип	Обозначение
1	Терморезистор	NTC3950 100 K
2	Фоторезистор	MLG4458

Для начального знакомства с основами программирования и применения микроконтролле-

ров обычно используют подключение простейших резистивных датчиков и вывод данных на терминал или светодиодную индикацию. В качестве следующего шага обычно рассматривают подключение более сложных датчиков (например, датчика пульса KY-039 или углекислоты MH-Z19B).

Привлекательность платформы Arduino для начинающих объясняется простотой применения и широким набором стандартизованных сенсоров. Однако эта платформа ограничена относительно простыми проектами по причине неэффективным использованием флеш-памяти при использовании популярной среды разработки Arduino IDE.

Использование профессиональной среды разработки IDE IAR Embedded Workbench и микроконтроллеров семейства MSP430 [3] позволяет создавать более эффективные энергетически экономичные встроенные системы, что очень важно для биометрии.

К перспективным платформам для реализации встроенных систем следует также отнести одноплатный компьютер Raspberry PI [4].

II. ЭТАПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА

По итогам многолетнего опыта сложилась практика коллективного выполнения проектов по разработке встроенных систем с участием новичков и более опытных студентов. При этом процесс проектирования начинался с относительно простого, но действующего прототипа. Процесс проектирования в таком случае представляет собой развитие этого прототипа. Такой подход демонстрируется последовательностью этапов проектирования биометрической системы.

Этап 1. Постановка и уточнение задачи, изучение основ программирования микроконтроллеров, подключение простейших резистивных датчиков, вывод данных на терминал или светодиодную индикацию.

Этап 2. Реализация тренажера ритма дыхания на базе Arduino, резистивного датчика дыхания и светодиодов для индикации режимов работы. Задача этого этапа проекта ставится в общем

виде, а выбор детальной конфигурации предоставляется исполнителям, что стимулирует их активность.

Этап 3. После анализа результатов второго этапа исполнителям предлагается оптимизировать аппаратные затраты и встраиваемые программы с целью снижения энергопотребления.

Этап 4. Реализация законченной системы в виде законченного устройства открывает широкие возможности для развития креативности студентов и очень важна для формирования их профессиональных компетенций.

III. ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ

Тренажер ритма дыхания, упомянутый выше, построен на базе Arduino и терморезистивных сенсоров (см. рис. 1).

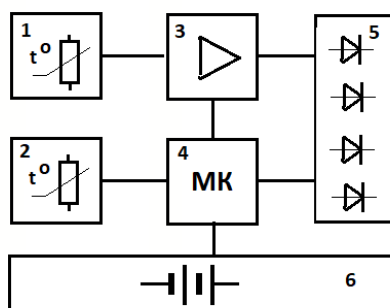


Рис. 1 – Структура проекта

На данном рисунке цифрами обозначены: 1 и 2 - терморезисторы, 3 - усилитель, 4 - микроконтроллер, 5 - светодиодная индикация, 6 - батарейный блок питания.

Бескорпусной терморезистор (под номером 1 на рис. 1) установлен на микрофоне гарнитуры тренируемого студента, что позволяет реализовать датчик дыхания, различающий вдох и выдох по текущему изменению его сопротивления. Аналогичный сенсор использован в биометрической системе [5].

В этом проекте также используются 4 светодиода различных цветов (белый, зеленый, голубой и красный, причем два из них задают рекомендуемые длительности вдоха и выдоха соответственно, два другие индицируют реальные длительности вдоха и выдоха. Первые два светодиода включаются поочередно, указывая сколько секунд надо вдыхать, и сколько выдыхать.

При этом в зависимости от уровня подготовки исполнителей индикацию реального вдоха и выдоха можно сделать аппаратно по усиленному и откомпарированному сигналу датчика дыхания либо осуществлять от микроконтроллера с использованием оцифровки и анализа сигнала датчика дыхания.

Задача тренируемого — дышать так, чтобы светодиоды реальных и заданных длительностей

вдоха и выдоха загорались и гасли попарно одновременно — два при вдохе, два — при выдохе.

Возможны различные направления развития и применения рассмотренного проекта. Прежде всего это подключение дополнительных биометрических датчиков (состава выдыхаемого воздуха, частоты сердцебиений, проводимости кожи). Например, анализ выдыхаемой углекислоты позволяет более строго оценить качество дыхания.

В виде законченного устройства на базе MSP430 реализована система контроля состояния студента для тренажера иностранного языка, представляющий собой упрощенную версию устройства Sita SuperLearning [5]. В этом устройстве в дополнение к датчику дыхания и светодиодам используется MP3-плеер, который воспроизводит иностранную речь при достижении ровного дыхания тренируемого студента.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом пошагового выполнения проекта, рассмотренного в данном сообщении, наряду с приобретением практического опыта разработки встроенных систем, является создание законченных устройств, представляющих практический интерес.

Проект открыт для подключения новых исполнителей на любом этапе, и не критичен к уровню начальной подготовки вновь входящих, что очень важно для его успешного выполнения при изменении состава участников.

При всей простоте каждого из рассмотренных этапов достигается формирование профессиональных компетенций и стимулируется развитие творческих отношений к поставленным задачам с акцентом на практическое применение достигнутых результатов.

Авторы считают приятным долгом выразить благодарность А.М. Поплетееву за техническую и спонсорскую поддержку проектов, а также Коржукову П.П. и Кольчевскому Н.Н. за плодотворное обсуждение решаемых задач.

1. Вишняков В.А. Развитие сетей «интернета вещей» и подготовка специалистов по инфокоммуникациям //Вестник связи. 2020 №3 (161). С. 50–53.
2. Arduino Home [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.arduino.cc/> — Дата доступа: 18.10.2022.
3. MSP430, Официальный сайт компании Texas Instruments //TI.COM. URL: <http://www.ti.com/> (дата обращения: 18.10.2022).
4. Raspberry Pi [Электронный ресурс] / BBC News 5 May 2011 — Режим доступа: <https://www.bbc.com/news/av/technology-13292450> — Дата доступа: 18.10.2022.
5. Multimodal Biomedical System for Human Emotion Monitoring /V.Lutkovski, D.Zheludkovich, A.Popletcev//Proc. of PRIP 2019. 21-23 May 2019. С. 90-92.
6. Изучение иностранных языков по системе Sita Learning system //Белорусская деловая газета. 1994 г. №1 (99). С.3.

VISUAL SHADER PROGRAMMING

Metelitsa D. S., Savenko A. G.

Institute of Information Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: savenko@bsuir.by

The paper presents a developed software tool for visual programming of shaders, designed to automate the process of visual description of shaders by technical artists and programmers in order to speed up the prototyping process. The result of the development will be visually presented immediately. The use of this tool by technical artists will reduce the interaction between the artist and the programmer in the process of working on a project, since the software tool does not require programming knowledge or other specific skills from the user. The result of shader programming will be export to GLSL-code, compatible with a large number of game engines.

INTRODUCTION

The development of technology leads not only to the simplification of the work of a modern person, but also to an increase in the quality of the entertainment sector. Computer games and graphics in cinematography have long been attractive not only for children, but also for a much wider audience. The consumer makes more and more demands on the quality of digital content, the level of image modeling, the quality of detailing of graphic images. The modern IT-sphere has long gone beyond the solution of purely mathematical problems.

I. COMPUTER GRAPHICS PROCESSING

A shader is a program that runs on a graphics card's graphics processing unit (GPU). The shader receives input data containing information about vertex coordinates, polygons, normals, lighting, vertex color, UV (texture coordinates), etc. The task of the shader is to accept this data, process it, and output the final result [1]. One of the basic concepts of shader programming is the 3D model. It includes two main items: vertex and texture. Each vertex has its own coordinates, as well as a normal. The vertices are combined into polygons using edges, and the polygons, in turn, form a polygonal mesh. A texture is a simple image that is positioned on the model according to UV coordinates. UV coordinates - the correspondence between the coordinates on the surface of a three-dimensional object (X, Y, Z) and the coordinates on the texture (U, V) (Figure 1). The values of U and V usually range from 0 to 1. That is, each vertex of the model has its corresponding coordinates on the texture. The shader is executed for each individual vertex/pixel separately. At the same time, it has information only about the vertex / pixel that it is currently processing. Those. at the time of writing the shader, we don't know what color the adjacent vertex/pixel is. There are pixel and vertex shaders. A vertex shader is a shader that processes vertex data and then passes it to the pixel shader. What data the shader will transmit can be set by the programmer. The vertex shader is executed before the pixel shader, and then data is passed from it to the

pixel shader. A pixel shader is a shader that takes interpolated data from a vertex shader and, based on it, calculates the color for each individual pixel [2].

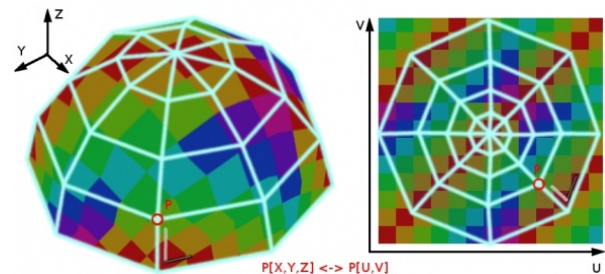


Figure 1 – Correspondence of coordinates (x, y, z) and (u, v)

The rasterizer divides the triangle into pixels, for which the texture coordinates and color are interpolated. Then, for each fragment, the following operations are performed: pixel ownership check, texture mapping, applying fog effects, alpha test, stencil-test, depth test, blending, dithering and boolean operations. After processing all these methods, the resulting fragment is placed in the frame buffer, which is subsequently displayed on the screen. [3]

II. SOFTWARE DEVELOPMENT

The developed software tool for visual shader programming allows to reduce the «artist-programmer» interaction in the process of working on a project, since the software tool does not require programming knowledge or other specific skills from the user. The development of the software was carried out in the C++ programming language. During development, the following modules were implemented:

- UI - is responsible for rendering, interaction with the user interface and the graph built during the creation of the shader.
- Generator - generates GLSL-code according to the graph obtained during the use of the program.
- Render - Renders a circle/square using a base or generated shader.

- Serialization - saves the description of the graph to a file, reads the description of the graph from the file and creates the necessary objects based on this description.
- Utils is a set of utility methods and structures.

The scheme of interaction between software modules is shown in Figure 2.

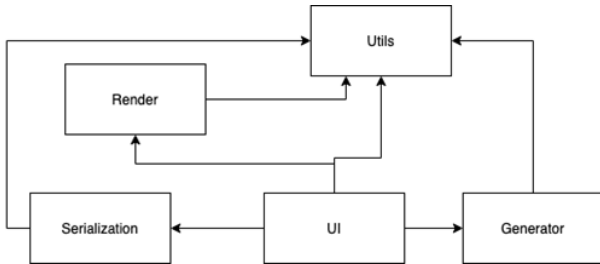


Figure 2 – Scheme of interaction between modules

The development of shaders is based on mathematical algorithms for processing graphs. A shader graph is a node-based GUI that allows designers and artists to add and connect nodes to create a shader without having to write any code. The basic idea is this: a shader graph is a graphical representation of a fragment shader (GLSL in this case). Each node in this graph is a text block in GLSL code. For example, the Multiply node takes two floating point numbers or vectors and returns the result of their multiplication. In this case, a plain text format is used to specify the nodes, instead of describing each node with a class. This approach has a number of advantages: nodes can be implemented quickly, and nodes can be changed or added without recompiling the engine. The nodes and links of the graph built during the creation of the shader are data. Structures are used to describe them. Figure 3 shows the pseudocode of the developed shader node bypass algorithm.

```

function resolve_node(node):
  let input_code = ""
  let this_code = node.code
  store_outputs(node) // create variables for each output
  for i in node.inputs:
    if i.connected_node is resolved:
      replace(this_code, i, i.connected_output)
    else:
      input_code += resolve_node(i.connected_node)
      replace(this_code, i, i.connected_output)
  return input_code + this_code
  let output = resolve_node(master_node)
  
```

Figure 3 – Pseudocode of the shader node traversal algorithm

To generate the code, an “input” point is needed, starting from which the graph will be bypassed. The node with which it is connected is determined along the link, and for that node, also find the one with which it is connected (i.e., we bypass the adjacent vertices of the graph sequentially). Thus, initially we reach the node without connections at the input, we write its code into a string, and so on until we return back to the color output node, and we actually get the code described by the graph. The interface of the software tool is similar to well-known and common shader editors.

The workspace is a grid, on the left is the preview area, at the top is the main menu. Adding nodes of the shader graph is carried out using the context menu (right-clicking and selecting the node type) (Figure 4).

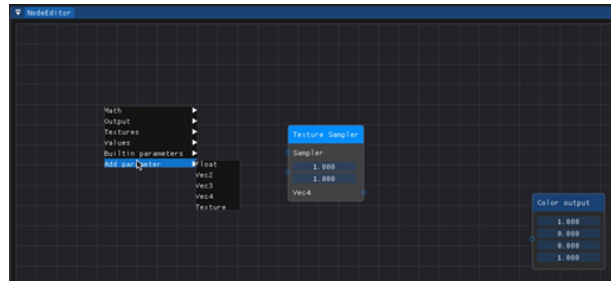


Figure 4 – Adding Nodes

When adding textures to a graph, a dialog box is used that allows you to load textures from files. Each pixel of a geometric object is painted with the corresponding texture color. The output is a three-dimensional texture effect that is correctly perceived by the viewer. Figure 5 shows how the texture is applied to the geometry of the object (in this case, in the preview mode, the user can use the mouse to change the angle of rotation of the object to view all the applied effects).

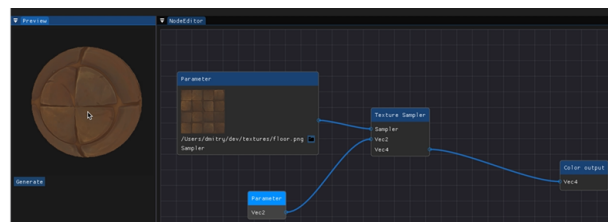


Figure 5 – Applying a Texture to an Object

One of the most important functions of the software is to export the developed shader to GLSL code. It is this feature that allows you to combine shaders created in the program with various custom engines. Separately, it is worth mentioning that the use of this PS does not require the presence of the Internet and the installation of any additional software. As a result, a software tool for visual programming of shaders was developed, which practically does not require programming knowledge from the user and has a convenient minimalistic interface and a discreet, business-like design style.

III. REFERENCES

1. Dev Tribe. Fundamentals of shader programming [Electronic resource]. - Access mode: <https://devtribe.ru/p/unity/quick-theory-of-shaders-1>. Access date 09/20/2022.
2. Habr.com. Programming shaders in Unity [Electronic resource]. - Access mode: <https://habr.com/ru/post/474812>. Access date 09/20/2022.
3. GameDev.ru Shader programming in HLSL [Electronic resource]. - Access mode: <https://gamedev.ru/code/articles/HLSL>. Access date 09/20/2022.

СИНТЕЗ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО МОДУЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ

Петухов В. И., Сатинов Е. Е., Журавлёв В. И.

Кафедра теоретических основ электротехники, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: vladpetuhov88@mail.ru, satinov.ee.study@gmail.com, vadh@bsuir.by.

В работе в качестве объекта управления рассматривается термостатирование оптоэлектронного модуля элементом Пельтье.

ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является расчет регулятора температуры на основе элемента Пельтье и анализ переходных процессов при регулировании температуры. Техническими требованиями является обеспечение динамической ошибки не более 10%, в области перехода не более 20%, погрешность стабилизации температуры 0,1 °С и максимально возможная скорость изменения температуры в области

I. ОСОБЕННОСТИ И ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛЬТЬЕ

Элементы Пельтье применяются для конструирования термостатов малой мощности, термостатирования лазеров, применяются в формирователях температурного профиля и т.д.

Особенностью элемента Пельтье является его нелинейная статическая характеристика, нестационарность параметров. В силу этого в данной работе применен метод разделения движений [1, с. 183].

II. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Функциональная схема системы управления приведена на рисунке 1.

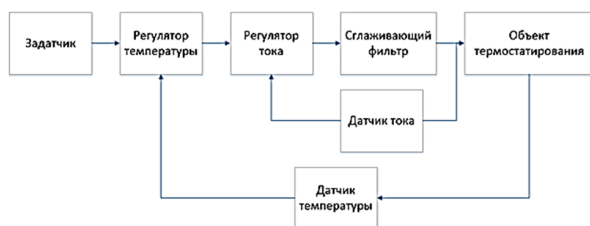


Рис. 1 – Функциональная схема системы управления

Для синтеза регулятора необходимо получить математическую модель объекта управления [2]. Математическая модель управляемого термостата на основе элемента Пельтье является нелинейной с нестационарными параметрами и отсутствием полной информации о параметрах [1]. Чтобы не усложнять идентификацию математической модели, рассмотрим в данной работе эмпирическую идентификацию математиче-

ской модели с применением программного обеспечения Matlab – Simulink.

Исходные профили температуры представлены на рисунке 2.

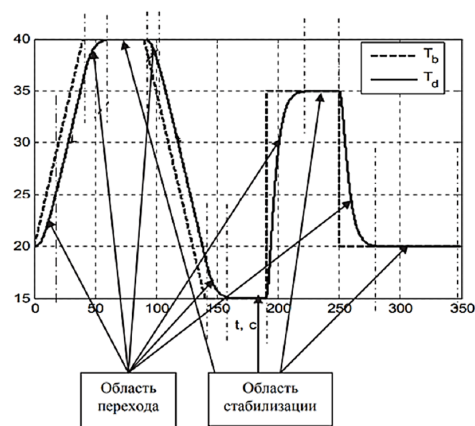


Рис. 2 – Вид заданного температурного профиля

Температура поверхности оптоэлектронного модуля и поверхности элемента Пельтье связана следующим соотношением [3]:

$$T_c \frac{dT}{dt} + T = T_{eff.ar} \cdot (t - t_{del}).$$

С учетом распространения тепла по рабочему объему, при котором температура рабочей поверхности описывается выражением, упрощенная мат. модель имеет второй порядок:

$$\frac{dT_{eff.ar}}{dt} = \frac{(a_1 T + a_2 I)I + a_4 (T_{oc} - T_{eff.ar})}{a_3},$$

где a_1 - параметр, учитывающий эффект Пельтье; a_2 - параметр, учитывающий электрическое сопротивление элемента Пельтье; a_3 - параметр, учитывающий теплоемкость рабочего объема, a_4 - параметр, учитывающий теплообмен с окружающей средой; T_{oc} - температура окружающей среды в кельвинах.

При эмпирической идентификации получены значения параметров:

$$a_1 = 0.07(Wt/K),$$

$$a_2 = 0.8(Ohm),$$

$$a_3 = 30(J/K),$$

$$a_4 = 3(Wt/K),$$

$$t_{del} = 1.5(c), T_c = 4(c).$$

Полагая, что время запаздывания значительно меньше длительности переходного процесса инерционной части, при расчете регулятора пренебрежем запаздыванием. Конечный вид уравнения объекта управления:

$$\ddot{T} + T_c^{-1}\dot{T} = a_3^{-1}T_c^{-1}(a_2I + a_1T)I + a_3^{-1}T_c^{-1}a_4(T - T_c)$$

III. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для постоянной времени $M_d = 4 (с)$:

$$\mu = 0.4с, k_p = 0.61, k_I = 0.078, k_d = 1.13, \tau = 0.2.$$

Выберем рабочую точку $I = 1(A)$, $T = 16(°C) = 289.15(K)$, для которой $k_0 = 5.3$.

По результатам формирования температурного профиля (рисунок 3) видно, что система неустойчива. Причиной этого являются пренебрежение запаздыванием и другими факторами.

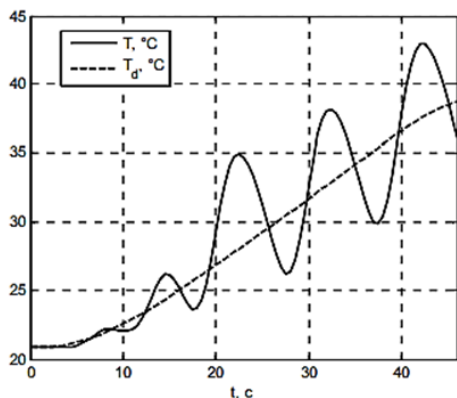


Рис. 3 – Графики формирования температурного профиля с ПИД-регулятором при коэффициенте $k_0 = 6.7$

Уменьшением k_0 можно ввести систему в область устойчивости. Проверим работу системы с $k_0 = 5.6$

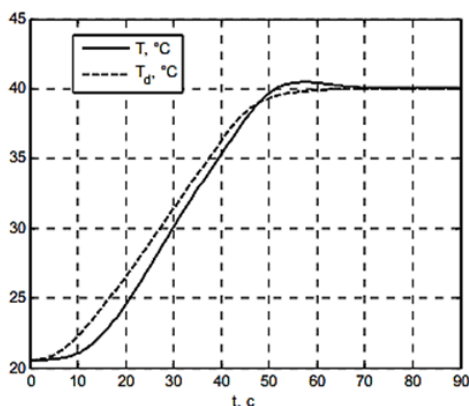


Рис. 4 – Графики формирования температурного профиля с ПИД-регулятором при коэффициенте $k_0 = 5.6$

Рассмотрим формирование температурного профиля при переменном общем коэффициенте,

рассчитываемом по формуле:

$$k_0 = \frac{0.2a_3T_c}{a_2I + a_1T}.$$

Как показывают результаты на рисунке 5, система является устойчивой, воспроизведение температурного профиля в квазилинейной области и стабилизация соответствуют техническим требованиям, однако при сглаженном скачкообразном задании изменение температуры резко замедляется при достижении 85% от разности между предыдущим и настоящим значением стабилизации температуры. В связи с этим не обеспечивается максимально возможная скорость изменения температуры.

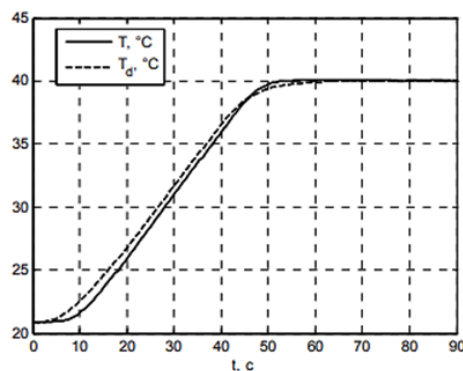


Рис. 5 – Графики формирования температурного профиля с ПИД-регулятором с переменным общим коэффициентом $k_0 = 5.7$

IV. ВЫВОДЫ

По результатам формирования температурного профиля видно, что метод разделения движений может быть использован для расчета регулятора температуры на основе элемента Пельтье. Вследствие запаздывания, использования упрощенной математической модели объекта управления после расчета коэффициентов регулятора методом разделения движений необходимо дополнительно подстроить общий коэффициент регулятора. Использование переменного общего коэффициента регулятора снижает динамическую ошибку.

V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юркевич, В.Д. Многоканальные системы управления. Синтез линейных систем управления с разнотемповыми процессами / В.Д. Юркевич – НГТУ, 2016. – 183 с.
2. T. K. Palaniyappan, etс. PID Control Design for a Temperature Control System, // 2018 IEEE International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control, 2018. – P.632-637.
3. Гринкевич В.А. Синтез регулятора температуры для элемента Пельтье / Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 1 (94). – С.33-52.

ПОДБОР ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Ширшова М.А., Дружинская Е.В.

Институт цифровых систем, автоматизации и энергетике, кафедра вычислительной техники и инженерной кибернетики, Уфимский государственный нефтяной технический университет
Уфа, Российская Федерация
E-mail: shirshovamasha@gmail.com

Все сферы науки и образования с течением времени переживают определённые изменения в используемых формах изучения, подачи и освоения материала. Современное общество более склонно воспринимать информацию в визуальном виде, предпочтительнее с погружением в виртуальную реальность.

В целом, виртуальная реальность является компьютерной симуляцией 3D-среды, которая кажется очень реальной человеку за счет использования специального электронного оборудования. Прежде чем начать работу над проектом, разработчикам программного обеспечения необходимо определиться с инструментами разработки. Этот процесс очень важен для жизнеспособности проекта. Прежде всего необходимо проанализировать планируемое приложение как с технической, так и с коммерческой точки зрения.

Существуют профессии, где малейшая ошибка фатальна. Чтобы начинающий специалист чувствовал себя увереннее на рабочем месте, на помощь приходят симуляторы. Таким образом, разработка интерактивных иммерсивных тренажёров для внедрения в образовательный процесс является актуальным направлением. Такой вид визуализации требует серьезной графической прорисовки и не обходится без использования сторонних библиотек. В настоящей статье представлен обзор технических особенностей двух наиболее популярных графических фреймворков: Unity3D и Unreal Engine 5.

Unity от Unity Technologies – игровой фреймворк, на котором разрабатывают проекты для консолей, мобильных и настольных устройств. Это удобный бесплатный программный комплекс, с помощью которого можно создавать проекты в одиночку. Библиотека работает по принципам объектно-ориентированного программирования на языке программирования C#: все характеристики одного объекта собраны в один класс. Среда предоставляет средства для работы с графикой, анимацией, физикой объектов, звуком, шаблонами и скриптами.

Преимущества: бесплатный для лиц с годовым доходом менее 100 тыс. долларов, наличие библиотек готовых решений, в том числе бесплатных, кроссплатформенность, множество обучающих ресурсов, поддержка сообщества разработчиков, создание физики твердых тел без написания кода, модульная система компонентов на основе объединения функциональных блоков.

Недостатки: невысокая производительность проекта, тяжеловесность проекта, отсутствие поддержки ссылок на внешние библиотеки, затруднительное редактирование шаблонов экземпляров, проблемы с оптимизацией, графическая часть проекта требует больших трудозатрат.

Игровая платформа делает возможным создание как двухмерного, так и трёхмерного контента. Их можно использовать в разных проектах или комбинировать в одном, образуя 2.5D-графику. С помощью встроенного графического редактора можно рисовать карты, расставлять предметы и декорировать окружение в режиме реального времени, после чего детально проработать сцену со стороны игровых персонажей. Во время редактирования на экране всегда можно просмотреть приблизительный или точный результат.

Unity XR SDK работает в версии Unity 2019 и выше. Платформа предоставляет инструменты, необходимые для реализации проектов виртуальной и дополненной реальностей (VR и AR). Архитектура XR имеет технологический стек, который позволяет напрямую добавлять многоплатформенную интеграцию, новые функции и оптимизацию. Компоненты технического стека позволяют программистам сосредоточиться на функциях разрабатываемого приложения без отслеживания различий между конкретными API-интерфейсами устройств. Также XR предлагает два набора инструментов: AR Foundation (предназначен AR-проектов) и XR Interaction (XRI, предназначен для VR-проектов). Конвейер рендеринга высокой четкости (HDRP) призван предоставлять инструменты для создания достойной графики без потери производительности. Это позволяет использовать Unity3D для разработки VR-игр для всех типов устройств.

Минимальные системные требования для разработки: операционная система Windows (от 7-й версии), macOS (High Sierra 10.13+, Big Sur 11.0), Linux (Ubuntu, CentOS), Android, iOS; разрядность 64 бит; место на диске 12 ГБ; оперативная память 8 ГБ; процессор многоядерный Intel и AMD с частотой 2.5 ГГц с поддержкой

набора инструкций SSE; видеокарта с поддержкой DX10, DX11 или DX12.

Unreal Engine от Epic Games – движок для разработки игр, имеющий широкие возможности: от создания двухмерных игр на мобильных устройства до AAA-проектов для консолей. Основная разработка осуществляется на языке программирования C++. Компания стабильно держит лидерские позиции в области передовых технологий, поэтому Unreal Engine обеспечивает впечатляющую визуальную составляющую с качественным освещением, мягкими тенями, достойными отражениями, достоверной анимацией персонажей и прочими эффектами. Помимо этого, движок содержит множество инструментов, которые облегчают работу над проектом. Например, UE поддерживает множество форматов текстов, точно передает физические свойства материалов, позволяет изменять объекты в реальном времени, задавать для них функции и комментарии, автоматически выбрать источники освещения, добавить различные визуальные эффекты и т.д.

Преимущества: бесплатный для лиц до тех пор, пока проект не окупится, кроссплатформенность, широкий функционал, встроенная система визуального скриптинга Blueprints Visual Scripting, поддержка сообщества разработчиков, низкий порог вхождения, предустановленное множество плагинов.

Недостатки: сравнительно небольшое количество обучающих ресурсов, загруженный редактор, при добавлении слишком большого количества персонажей, проблематичное создание больших бесшовных миров, рассчитанных на множество игроков, проблемы с оптимизацией, необходимость ограничения деятельности персонажей, находящихся за пределами взаимодействия с игроками.

Unreal Engine имеет открытый исходный код, поэтому является настраиваемым и часто его изменяют под различные игровые платформы, оптимизируя тем самым не только разработку, но и сборку игры. В игровом мире существуют объекты с уникальными оттенками, фактурами и физическими свойствами. В UE внешний вид зависит от настроек материалов, которые можно наносить на любые, даже самые маленькие, объекты.

Программное обеспечение Unreal совместимо со всеми основными гарнитурами виртуальной реальности. Шаблон VR Template разработан для проектов виртуальной реальности в Unreal Engine. Он включает в себя инкапсулированную логику для телепортации и обычные действия ввода, такие как захват и прикрепление предметов к руке. Также есть готовый пакет (Virtual Reality Game Kit), в котором собраны

различные механики. С помощью VRGK разработка приложения ведется быстрее и проще. В пакете собраны такие функции, как физика объектов, движения человека (бег, захват, прыжки и т.д.), взаимодействие с предметами, интерактивные инструменты (кнопки, переключатели и т.д.), система масок и одежды, освещение темных участков и т.д. Единственный недостаток пакета – существенная стоимость.

В UE начинающие разработчики могут импортировать уже готовые шаблоны со скелетами персонажей и настройки анимации. Для неопытных пользователей крайне полезен Animation Blueprint – скрипт, который значительно упрощает работу по созданию паттернов движений персонажа без использования кодирования. Существует встроенная интеллектуальная система, которая отвечает за манипуляции персонажей, настраиваемые с помощью дерева поведения. В простые схемы закладываются алгоритмы действий и принятия решений. Система в первую очередь предназначена для профессионалов, то есть имеет сложный и загруженный управленческий интерфейс и рассчитана на разработку масштабных проектов.

Минимальные системные требования для разработки: операционная система Windows 10, macOS Big Sur, Linux Ubuntu; разрядность 64 бит; место на диске 12 ГБ; оперативная память 8 ГБ; процессор многоядерный Intel и AMD с частотой 3,4 ГГц с поддержкой набора инструкций SSE; видеокарта с поддержкой DirectX 11 или DirectX 12.

Таким образом, Unity и Unreal предлагают свои собственные функции и преимущества, которые подходят для разработки проектов виртуальной реальности. Unity несколько проще в использовании и лучше документирована. Многие разработчики также утверждают, что Unity3D легче оптимизировать, обеспечивая лучшую частоту кадров при меньшей вычислительной мощности. Это делает данный фреймворк подходящим для тех, кто хочет создавать игры для устройств с низким энергопотреблением. В противовес этому, Unreal Engine подходит для опытных разработчиков, которые хотят создавать VR-проекты, использующие новейшие графические технологии. Независимо от выбора инструментов для разработки VR-проектов необходимо определиться с управляющими устройствами и настроить их под конкретную среду.

I. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт Unity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unity.com/ru> . – Дата доступа: 08.10.2022.
2. Официальный сайт Unreal Engine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.unrealengine.com/en-US/> . – Дата доступа: 08.10.2022.

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Сидоров Д., Митьковец Л. В., Гуринович А. Б.

Кафедра систем управления

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: sam65th@mail.ru, lidiatommo@gmail.com, gurinovich@bsuir.by

Предлагается эффективная система передачи данных (ПД), ориентированная на использование в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА).

ВВЕДЕНИЕ

Многие задачи, решаемые посредством БПЛА и сопутствующими авиационными комплексами, требуют наличие высокоскоростных и надежных линий передачи информации между БПЛА и наземным комплексом управления (НКУ). Задачи оперативного наблюдения с помощью таких технологий предполагают снятие на борту и предоставление на НКУ растровых изображений различного разрешения, получаемых со встроенной фото- или видеосистемы.

Часто используемая технология ПД заключается в непрерывной трансляции изображения по мере его получения в цифровом формате, структура которого не меняется в течение всего полета.

I. ПРОБЛЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ

Непрерывная трансляция изображений имеет следующие особенности:

- гарантия достоверной доставки информации отсутствует в силу возможных искажений сигнала;
- существует ограничение в мощности излучаемого сигнала из-за нерационального использования энергоресурсов аппарата.

Существующая технология доставки изображения зачастую не эффективно использует ресурсы радиоканала. В этой связи становится актуальным решение следующих задач:

- реализация функции гарантированной доставки;
- реализация снижения разрешения видеопотока;
- создание системы ПД, способной эффективно использовать энергетический и спектральный ресурс канала связи.

II. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ АЛГОРИТМ

Для осуществления передачи изображения оптимальным и наиболее часто используемым остается вид связи, при котором данные передаются напрямую между БПЛА и НКУ. В этом случае удастся реализовать возможность передачи информации с большой скоростью, недоступной спутниковым системам связи, и при этом не

зависеть от стационарных гражданских систем связи.

Эта информация сканируется и поступает на приемник информации, который впоследствии обрабатывает эти данные.

Данные, получаемые от приемника информации, претерпевают некоторое преобразование, которое включает в себя сжатие по методу кодирования длин серий (RLE) [1], криптографическое закрытие информации по методу шифрования перестановкой и кодирование информации с помощью итеративного кода с проверкой на четность по строкам и столбцам, который является помехоустойчивым [2]. Для повышения качества работы системы используется межблоковое перемежение.

Полученные после такого преобразования данные подвергаются модуляции по принципу ФМП-8. В НКУ будет производиться проверка принятой комбинации, и в случае ошибки на передатчик будет послан сигнал на повторную передачу сообщения, иначе – сигнал о правильном приеме и запрос на передачу следующего сообщения.

III. СТРУКТУРА ПЕРЕДАВАЕМЫХ СИГНАЛОВ

Для корректного приема сообщения необходима синхронизация отправителя (БПЛА) и получателя (НКУ), которая в нашем случае реализуется независимо друг от друга (асинхронно). При такой передаче каждый байт может быть несколько смещен во времени относительно побитовых тактов предыдущего байта. Такая асинхронность не влияет на корректность ПД, т.к. в начале каждого байта происходит дополнительная синхронизация за счет стартового бита.

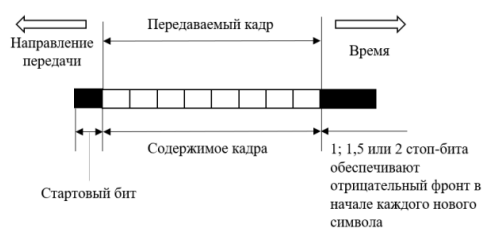


Рис. 1 – Структура сигнала при асинхронной передаче

Сигнал обратной связи будет содержать информацию, успешной была передача кадра или нет.

ОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Обобщенная структура системы ПД в цифровой форме от передающей стороны (БПЛА) к принимающей (НКУ) представлена на рисунке 2.

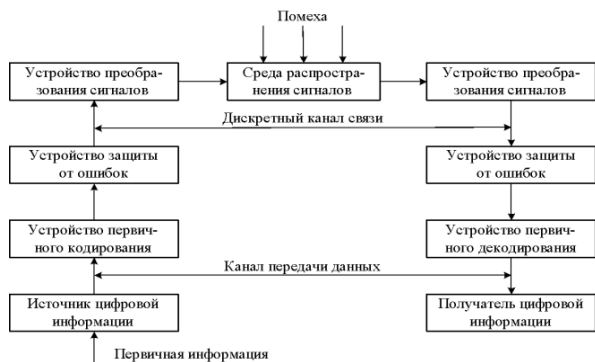


Рис. 2 – Обобщенная структура системы ПД

Устройство первичного кодирования в общем случае выполняет функции преобразования сообщений, выдаваемых источником, в первичный код; устройство защиты от ошибок (УЗО) выполняет наиболее ответственные функции – обеспечение требуемых вероятностно-временных характеристик процесса передачи данных. В этом блоке реализуется тот или иной алгоритм передачи информации, осуществляется избыточное кодирование и декодирование цифровой информации. С целью согласования УЗО передатчика и приемника с непрерывным каналом связи используются устройства преобразования сигналов, включаемые на передаче и приеме. В данном случае – это модулятор и демодулятор.

IV. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ И СПЕКТРАЛЬНЫЙ РАСЧЕТЫ ЛИНИИ СВЯЗИ

В зависимости от заданного требуемого диапазона действия эксплуатации аппарата по формуле Фрииса возможно рассчитать приближенную мощность передатчика БПЛА [3]:

$$P_t = \frac{16\pi^2 D_{max}^2 P_{rmin}}{\lambda^2 G_t G_r} \quad (1)$$

При задании коэффициента усиления передающей и принимающей антенн в 20 дБ, максимально возможной дальности радиосвязи в 200 км, получим мощность приблизительно 1 кВт. При единичном сопротивлении амплитуда носителя равна корню квадратному удвоенной мощности и составляет 44,72 В.

Согласно сигнальному созвездию восьмипозиционной фазовой манипуляции (ФМП-8) [4] (рис. 3), для данного способа модуляции фазовый скачок будет равен 45°.



Рис. 3 – Сигнальное созвездие ФМП-8

При расчете спектра сигнала, прошедшего ФМП-8, принимались следующие данные: частота носителя 2,4 ГГц, частота модулирующего сигнала 800 Гц, амплитуда носителя 44,72 В, скважность модулирующего импульса 2.

Мощность гармоник в практическом спектре 2,4 ГГц составила 91,12% от полной мощности (рис. 4).

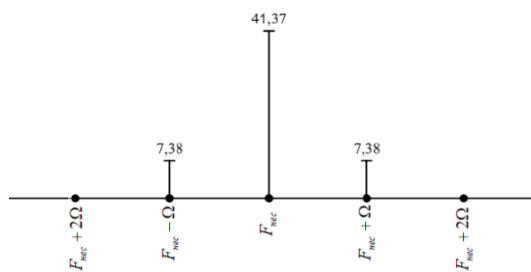


Рис. 4 – Спектр ФМП-8 сигнала

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, была предложена система передачи данных, ориентированная на применение в беспилотных летательных аппаратах на дальностях действия до 200 км. Она состоит из устройств первичного кодирования (первичного декодирования), компрессии (декомпрессии), защиты от ошибок и модулятора (демодулятора) с передающей (принимающей) стороны. Помехозащищенность обеспечивается итеративным кодом с проверкой на четность по строкам и столбцам. Итеративный код обнаруживает любые комбинации ошибок нечетного веса и исправляет одиночные ошибки, что хорошо сочетается с использованием блочного перемежения, когда пакеты ошибок оказываются распределенными между несколькими блоками информации.

1. Робинсон, А.Н., Черри, К. Results of a prototype television bandwidth compression scheme - М: Журнал «Proceedings of the IRE», том 55, с.356-364, 1967г.
2. Сорока, Н.И. Кривинченко, Г.А. Телемеханика. Коды и кодирование - учебное пособие. Ч. 2, с.61-63, 2020г.
3. Фриис Х.Т. A Note on a Simple Transmission Formula, - М: Журнал «Proceedings of the IRE», том 3, с.254, 1946 г.
4. Сорока, Н.И. Кривинченко, Г.А. Телемеханика. Модуляция и кодирование информации - учебное пособие. Ч. 1, с.72, 2020 г.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕШЕНИЙ СЕМЕЙСТВА ТРЕХМЕРНЫХ ДИССИПАТИВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЯТИЭЛЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ С ОДНОЙ КВАДРАТИЧНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ И ОДНОЙ КОНСТАНТОЙ

Цегельник В. В.

Кафедра высшей математики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: tsegvv@bsuir.by

Исследован характер возможных подвижных точек решений семейства трехмерных пятиэлементных диссипативных динамических систем с одной квадратичной нелинейностью и одной константой.

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] исследованы аналитические свойства решений трехмерных диссипативных четырехэлементных динамических систем с квадратичными нелинейностями без хаотического поведения.

В [2, 3] исследованы аналитические свойства решений трехмерных консервативных четырехэлементных динамических систем с квадратичными нелинейностями без хаотического поведения (за исключением одной системы).

В работе [4] выполнено качественное исследование решений трехмерных диссипативных пятиэлементных систем с одной квадратичной нелинейностью и одной константой, а также с одной квадратичной нелинейностью.

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является исследование характера возможных подвижных особых точек (т.е. точек, положение которых зависит от начальных условий) решений систем [4]

$$\dot{x} = y^2 + \varepsilon x + A, \dot{y} = z, \dot{z} = z. \quad (1)$$

$$\dot{x} = y^2 + z + A, \dot{y} = x, \dot{z} = \varepsilon z. \quad (2)$$

$$\dot{x} = yz + \varepsilon x + A, \dot{y} = x, \dot{z} = y. \quad (3)$$

$$\dot{x} = x^2 + \varepsilon x + y, \dot{y} = A, \dot{z} = x. \quad (4)$$

$$\dot{x} = \varepsilon x + y + A, \dot{y} = xz, \dot{z} = y. \quad (5)$$

$$\dot{x} = \varepsilon x + z + A, \dot{y} = xz, \dot{z} = y. \quad (6)$$

$$\dot{x} = y^2 + A, \dot{y} = x + z, \dot{z} = \varepsilon z. \quad (7)$$

$$\dot{x} = y^2 + A, \dot{y} = z + \varepsilon y, \dot{z} = x. \quad (8)$$

$$\dot{x} = z^2 + A, \dot{y} = x + \varepsilon y, \dot{z} = y. \quad (9)$$

$$\dot{x} = yz + A, \dot{y} = x + \varepsilon y, \dot{z} = x. \quad (10)$$

$$\dot{x} = yz + A, \dot{y} = x + \varepsilon y, \dot{z} = y. \quad (11)$$

$$\dot{x} = yz + A, \dot{y} = \varepsilon y + z, \dot{z} = x. \quad (12)$$

$$\dot{x} = z^2 + \varepsilon x, \dot{y} = x + A, \dot{z} = y. \quad (13)$$

$$\dot{x} = z^2 + y, \dot{y} = \varepsilon x + A, \dot{z} = x. \quad (14)$$

$$\dot{x} = yz + \varepsilon x, \dot{y} = x + A, \dot{z} = x. \quad (15)$$

$$\dot{x} = yz + \varepsilon x, \dot{y} = x + A, \dot{z} = y. \quad (16)$$

$$\dot{x} = yz + \varepsilon x, \dot{y} = x + A, \dot{z} = x. \quad (17)$$

$$\dot{x} = y^2 + \varepsilon x, \dot{y} = x + z, \dot{z} = A. \quad (18)$$

$$\dot{x} = y^2 + z, \dot{y} = x + \varepsilon y, \dot{z} = A. \quad (19)$$

$$\dot{x} = \varepsilon x + z, \dot{y} = x + A, \dot{z} = xy. \quad (20)$$

$$\dot{x} = \varepsilon x + z, \dot{y} = z + A, \dot{z} = xy. \quad (21)$$

с известными функциями x, y, z в предположении, что независимая переменная t является комплексной; $\varepsilon^2 = 1$, A — произвольный постоянный параметр. При $\varepsilon = -1$ каждая из систем (1) — (21) является диссипативной.

Системы (уравнения), общие решения которых не имеют подвижных критических особых точек, называют системами (уравнениями) Пенлеве -типа или P -типа.

II. АЛГОРИТМ

Для решения поставленной задачи использован тест Пенлеве [5], представляющий набор условий, необходимых для отсутствия у общего решения системы дифференциальных уравнений подвижных критических особых точек (свойство Пенлеве).

Для анализа решений систем (1)–(21) использован также подход, заключающийся в замене каждой из них эквивалентным уравнением третьего порядка и сравнением его с известными уравнениями Пенлеве -типа.

III. ВЫВОДЫ

Теорема 1 [4]. Системы (5), (17), (20), (21) обладают в случае $\varepsilon = -1$ хаотическим поведением.

Теорема 2. При $\varepsilon = -1$ системы (17), (20) эквивалентны уравнению

$$\ddot{y} + \ddot{y} - y\dot{y} + Ay = 0, \quad (22)$$

а системы (5), (21) соответственно уравнениям

$$z \dot{z}' - \dot{z}\ddot{z} = -z\ddot{z} + z^2\dot{z} + Az^2, \quad (23)$$

$$y \ddot{y}' - \dot{y}\ddot{y} = -y\ddot{y} + y^2\dot{y} - Ay^2. \quad (24)$$

Теорема 3. Ни одно из уравнений (22), (23), (24) не является уравнением Пенлеве -типа. Ни одна из систем (5), (17), (20), (21) не является системой Пенлеве -типа в случае $\varepsilon = -1$.

Теорема 4. Системы (3), (11) эквивалентны уравнению

$$\ddot{z} - \frac{1}{2}z^2 - \varepsilon\dot{z} = At + C, \quad (25)$$

а системы (2), (7) — уравнению

$$\ddot{y} - y^2 = Ce^{\varepsilon t} + A, \quad (26)$$

где C — произвольная постоянная.

Теорема 5. Системы (4), (15), (18), (19) эквивалентны соответственно уравнениям

$$\ddot{z} - z^2 - \varepsilon\dot{z} = At + C, \quad (27)$$

$$\ddot{z} - z^2 - (At + C)z - \varepsilon\dot{z} = 0, \quad (28)$$

$$\ddot{y} - y^2 - \varepsilon\dot{y} = \varepsilon(At + C) + A, \quad (29)$$

$$\ddot{y} - y^2 - \varepsilon\dot{y} = At + C, \quad (30)$$

где C — произвольная постоянная.

Теорема 6. Ни одно из уравнений (25)–(30) не является уравнением Пенлеве -типа.

Теорема 7. Общие решения ни одной из систем (2), (3), (4), (7), (11), (15), (18), (19) не обладают свойством Пенлеве.

Теорема 8 [4]. Системы (1), (2), (3) эквивалентны системам (13), (14), (16) соответственно.

Теорема 9. Системы (1), (8) эквивалентны уравнению

$$\ddot{y} = y^2 + \varepsilon\dot{y} + A, \quad (31)$$

система (9) — уравнению

$$\ddot{z} = z^2 + \varepsilon\dot{z} + A, \quad (32)$$

а система (12) — уравнению

$$\ddot{y}' = \varepsilon\dot{y}' + y\dot{y}' - \varepsilon y^2 + A. \quad (33)$$

Теорема 10 [6]. Уравнения (31)–(33) не являются уравнениями Пенлеве -типа.

Следствие. Общие решения ни одной из систем (1), (8), (9), (12), (14), (16) не обладают свойством Пенлеве.

Замечание 1. Справедливость теоремы 6 следует из [7].

Замечание 2. Исследование характера подвижных особых точек решений систем (6), (10) будет выполнено с помощью теста Пенлеве [5].

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цегельник, В. В. Пенлеве -анализ одного класса трехмерных нелинейных динамических систем / В. В. Цегельник // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2018. – Т. 7, № 2. – С. 133–137.
2. Цегельник, В. В. Аналитические свойства решений трехмерных автономных консервативных систем с одной или тремя квадратичными нелинейностями без хаотического поведения / В. В. Цегельник // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2020. – Т. 9, № 4. – С. 338–344.
3. Цегельник, В. В. Аналитические свойства решений трехмерных консервативных систем с двумя или четырьмя квадратичными нелинейностями / В. В. Цегельник // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2021. – Т. 10, № 4. – С. 295–301.
4. Zhang, Fu. Chaotic and nonchaotic behavior in three-dimensional quadratic system: 5 -1 dissipative cases / Fu Zhang, J. Heidel // Inter. Journal of Bif. and Chaos. – 2012. – Vol. 22, № 1. – P. 1250010.
5. Грицук, Е. В. К теории нелинейных систем дифференциальных уравнений со свойством Пенлеве / Е. В. Грицук, В. И. Громак // Весці НАН Беларусі. Серыя фіз.-мат. навук. – 2006. – № 3. – С. 25–30.
6. Cosgrove, C.M. Chazy classes IX–XI of third-order differential equations / C.M. Cosgrove // Stud. Appl. Math. – 2001. – Vol. 104, № 3. – P. 171–228.
7. Айнс, Э. Л. Обыкновенные дифференциальные уравнения / Э. Л. Айнс // Харьков: ОНТИ, 1939. –720с.

УЧЕТ ЗАДЕРЖКИ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ VPN-ТУННЕЛЕЙ В СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Врублевский С. С., Бысов А. А.
Кафедра связи, Военная академия Республики Беларусь
Минск, Республика Беларусь
E-mail: sergeyvrublevsky0@gmail.com

В данной статье описана математическая модель сети электросвязи специального назначения, позволяющая оценить ресурс сети по пропускной способности и задержке передачи пакета для планируемых VPN-туннелей. Показан пример расчета на типовой структуре сети электросвязи специального назначения с соблюдением принципов иерархичности.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в сетях электросвязи специального назначения (СЭСН) наблюдается значительное увеличение объема передаваемых сообщений. Это обусловлено появлением и активным использованием следующих услуг: видеоконференцсвязь, IP-телефония, электронная почта, электронные карты местности, базы данных, что предполагает выполнение высоких требований качества обслуживания пользователей в соответствии с классом трафика. Использование IP-технологий делает СЭСН во многом схожими с сетями электросвязи общего пользования (СЭОП). Например, возрастающей ролью использования технологии VPN (Virtual Private Network), при организации защищенного соединения и разграничения потоков трафика.

Виртуальная частная сеть (VPN) - представляет собой выделенную сеть передачи данных, построенную на инфраструктуре телекоммуникационной сети общего пользования, в которой конфиденциальность и защищенность информации пользователя обеспечивается механизмами шифрования и разграничения трафика [1].

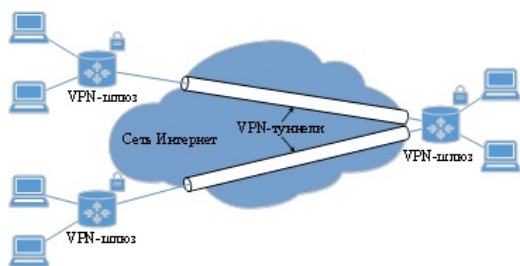


Рис. 1 – Виртуальная частная сеть

Авторами в [2] с помощью имитационной модели СЭСН было доказано, что отсутствие механизмов обеспечения качества обслуживания пользователей при создании VPN-туннелей не обеспечивает поддержание в норме основных характеристик (требования по задержке передачи и вероятности потери пакетов не выполняются).

Следовательно, услуги реального времени предоставлены с заданным качеством не будут.

Для обеспечения требуемого качества обслуживания, при планировании VPN-туннелей, необходимо использовать математические модели, учитывающие в качестве ресурса (запаса) сети не только пропускную способность канала связи, но и задержку передачи пакета.

1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Научно-методологический аппарат для анализа и синтеза сетей VPN общего назначения не в полной мере применим для СЭСН ввиду того, что существующие методы анализа и синтеза сетей VPN, как правило, используются в системе «провайдер-пользователь».

На сегодняшний день существуют следующие классы моделей исследования сетей VPN, основанные на граф-комбинаторных алгоритмах: потоковая и канальная модели VPN. Применение канальной модели для описания сетей VPN целесообразно в сетях с предсказуемым однородным трафиком (например, моносервисная сеть VoIP, что на практике редко реализуемо).

Для описания VPN в сетях с коммутацией пакетов применяется потоковая модель VPN. В потоковой модели оценивается стоимость организации VPN-туннеля, что является ресурсом сети для его формирования. Данная модель для оценки ресурса сети использует лишь пропускную способность, ввиду того, что потоковая модель ориентирована на СЭОП с бесконечным ресурсом относительно пропускной способности соединительных линий в СЭСН.

Запас по пропускной способности в потоковой модели VPN между двумя оконечными точками равен разности матрицы минимальных пропускных способностей и матрицы интенсивностей между двумя маршрутизаторами на оптимальных маршрутах [3]:

$$\Delta = Q_{ij_{opt}} - \Lambda_{opt}. \quad (1)$$

В свою очередь, разработанная математическая модель позволяет рассчитать запас сети не только по пропускной способности, но и с учетом

допустимой задержки передачи пакета в соответствии с классом трафика, формула 1.

Согласно данной модели запас по пропускной способности равен разности матрицы минимальных пропускных способностей и матрицы интенсивностей между двумя маршрутизаторами на оптимальных маршрутах, при учете того, что суммарная задержка передачи пакета не должна превышать допустимой задержки передачи для определенного класса трафика.

Физический смысл предлагаемого решения представлен на рис. 2. На данном рисунке показаны следующие зависимости: зависимости удельного запаса по пропускной способности, и задержки передачи от удельной интенсивности трафика расположенные соосна. Под удельной интенсивностью понимается отношение интенсивности трафика на участке сети к максимально допустимой интенсивности, определяемой путем решения задачи о максимальном потоке. Данные зависимости получены, при моделировании типовой структуры СЭСН с сохранением принципов иерархичности.

На рис. 2 представлено, что при достижении удельной интенсивности допустимого порогового значения задержки передачи в 150 мс, дальнейший учет ресурса сети по пропускной способности недопустим, ввиду невыполнения требований качества обслуживания. В свою очередь потоковая модель показывает, что ресурс сети по пропускной способности есть, не учитывая того факта, что задержка передачи уже дошла до допустимого порогового значения.

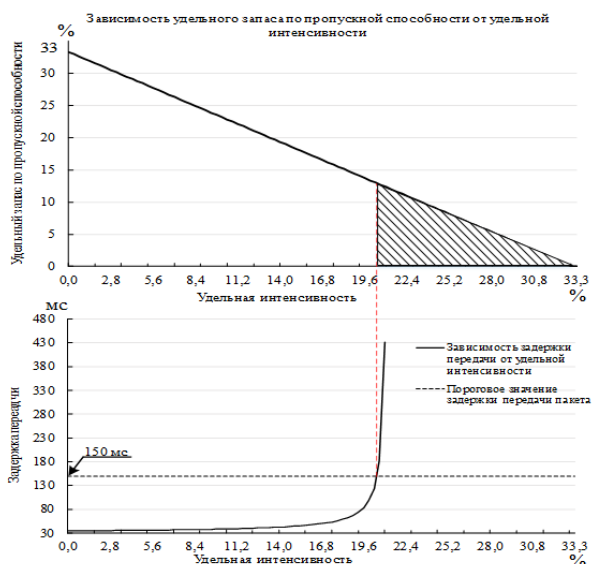


Рис. 2 – Зависимости удельного запаса по пропускной способности и задержки передачи от удельной интенсивности

Для оценки эффективности модели введен следующий показатель - ошибка определения запаса по пропускной способности для планируемых VPN-туннелей. Расчет данного показателя производится путем отношения площади фигуры под кривой после достижения допустимого порогового значения задержки передачи и площади всей фигуры под кривой. Следовательно, расчет ошибки оценки запаса по пропускной способности рассчитывается как:

$$k_{\text{ош}} = \frac{S_w}{S_{\text{без } w}} * 100\%.$$

В данном случае ошибка оценки запаса по пропускной способности составила:

$$k_{\text{ош}} = \frac{(33,3 - 21,2) * 14}{33,3 * 33,3} * 100\% \approx 15,28.$$

II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, не учитывая особенности СЭСН (ограниченный запас по пропускной способности, необходимость гарантированного обеспечения качества обслуживания и т.д.), создания запаса сети для планирования VPN-туннелей, учитывая лишь в качестве ресурса сети пропускную способность, может привести к ошибочной оценке ресурса сети. В свою очередь, представленная модель при расчете ресурса сети учитывает не только полосу пропускания, но и допустимую задержку передачи пакета.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mitra, D. Virtual Private Networks: Joint Resource Allocation and Routing Design / Mitra D., Morrison J. A., Ramakrishnan K. G. // Proc. of the 18th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. – 1999. – P. 480–490.
2. Машкин, Е. В. Оценка показателей качества обслуживания сети электросвязи специального назначения с использованием технологии VPN на основе имитационной модели / Е. В. Машкин, С. С. Врублевский // Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи : материалы XXII междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, 11 мая – 12 мая 2022 года, Минск, Респ. Беларусь / редкол.: А. О. Зеневич [и др.]. – Минск : Белорусская государственная академия связи, 2022. – С. 69–70.
3. Васильев, К. К. Математическое моделирование систем связи : учебное пособие / К. К. Васильев, М. Н. Служивый. – 2-изд., перераб. и доп. – Ульяновск : УлГТУ, 2010 – 170 с.

$$\Delta_{\text{delay}} = \begin{cases} Q_{ij_{\text{opt}}} - \Lambda_{\text{opt}}, w_{ij\Sigma} < w_k \forall k = \overline{1,7} \\ w_{ij\Sigma} = w_{\text{out}} + \sum_{n=1}^{N+1} w_{\text{prop}} + \sum_{n=1}^{N+1} w_{\text{proc}} + \sum_{n=1}^{N+1} w_{\text{wait}} + \sum_{n=1}^{N+1} w_{\text{serial}} \end{cases} \quad (2)$$

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ИНТЕРЕСАХ РАДИОЛОКАЦИОННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТА

Ярмолик С. Н., Зайко Е. В., Свинарский М. В., Храменков А. С.

Кафедра автоматики, радиолокации и приемо-передающих устройств, Военная академия РБ

Минск, Республика Беларусь

E-mail: zaiko.eugene@mail.ru, mechislav1993@gmail.com

Для повышения эффективности распознавания в докладе рассмотрено устройство распознавания типа объекта с использованием отличительных особенностей конструкции двигательных установок. Работоспособность и эффективность устройства оценивалась методом математического моделирования при решении задачи распознавания аэродинамических объектов по их спектральным портретам.

ВВЕДЕНИЕ

Современные радиолокационные системы (РЛС) являются источником различной информации о наблюдаемом объекте: местоположение, особенность передвижения, тип (класс) и др. Информация о наблюдаемом воздушном объекте используется при анализе и мониторинге воздушной обстановки. При этом качество и своевременность получения данных позволяет повысить эффективность решения задач на различных уровнях управления. Определение типа (класса) наблюдаемого воздушного объекта осуществляется при решении задачи радиолокационного распознавания (РЛР) [1]. В РЛС для определения типа (класса) наблюдаемого объекта широко используются радиолокационные портреты (РЛП) объектов наблюдения [1]. Высокой информативностью обладает спектральный РЛП (СРЛП), представляющий собой совокупность комплексных амплитуд отраженного сигнала, относящихся к различным элементам разрешения по частоте [1]. К достоинствам СРЛП можно отнести простоту и доступность его выделения для большинства современных РЛС.

1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассматривая СРЛП наблюдаемого объекта можно отметить наличие так называемой «планерной» составляющей спектра, обусловленной отражением сигнала от корпуса наблюдаемого объекта и имеющую доплеровский сдвиг $F_{ДС}$, пропорциональный радиальной скорости перемещения цели. Кроме того, в СРЛП наблюдаемого объекта присутствуют составляющие «вторичной модуляции» (ВМ), обусловленной отражением сигнала от вращающихся элементов двигательных установок (лопасти несущих винтов вертолета, лопасти тяговых винтов двигателей, лопасти рабочих колес турбин турбовинтовых и турбореактивных двигателей, лопасти рулевых (хвостовых) винтов вертолета и др.) распознаваемых объектов [1, 3 С. 25-38]. Понятие ВМ является общим понятием, характеризующим явление модуляции параметров радиолокационных сигналов в процессе вторичного излучения от

вибрирующих и вращающихся элементов наблюдаемого объекта [2, С. 16].

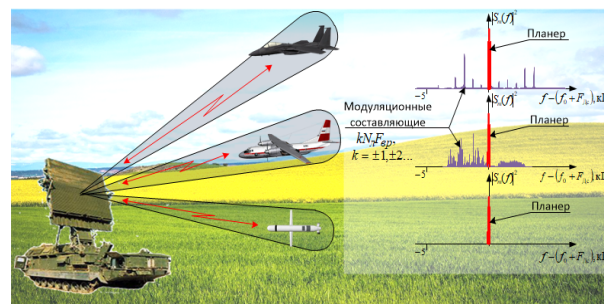


Рис. 1 – Примеры СРЛП различных объектов

В зависимости от источника различают множество видов ВМ [1 С. 117, 2 С. 16]. Основное влияние на формирование отсчетов ВМ оказывают параметры, относящиеся к особенностям конструкции и режимам работы двигательных установок: количество лопастей в винте (ступени компрессора) N_L , частота вращения вала компрессора (двигателя) $F_{ВР}$ [1 С. 117, 2 С. 28-36]. Различные типы воздушных объектов отличаются значением числа лопаток N_L и частоты вращения $F_{ВР}$ вала компрессора [3]. Для турбореактивных самолетов конструкция турбин предусматривает наличие нескольких ступеней (винтов) турбины, отличающихся количеством лопаток. При облучении сигналом турбореактивных двигателей в спектре сигнала, отраженного от наблюдаемого объекта, кроме модуляционных составляющих сигнала $kN_L F_{ВР}$, обусловленных отражением от первой ступени двигателя, появляются спектральные составляющие на комбинационных частотах $(k_1 N_{L1} + k_2 N_{L2}) F_{ВР}, k_1, k_2 = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Значения частот вращения вала двигателя (компрессора низкого давления (КНД)) и число лопаток винта (ступеней КНД) отличаются для различных классов объектов («вертолет», «турбореактивный самолет», «винтовой самолет»), что повышает контрастность СРЛП классов объектов. При этом стоит отметить, что в спектре более интенсивно проявляются частоты ВМ, сформированной отражением от первой и второй ступени КНД. Для различных двига-

телей значения числа лопаток в КНД отличаются [3]. В виду того, что определить частоту вращения практически невозможно, использование значений частот спектра, формируемых «турбиной модуляцией» от первой и второй ступени двигателя позволяет повысить эффективность использования СРЛП для распознавания не только класса, но и типа наблюдаемого объекта. Для повышения эффективности использования СРЛП, предлагается использовать устройство, которое позволит при наблюдении объекта класса «турбореактивный самолет», дополнительно определять и тип наблюдаемого объекта (МиГ-29, F-22, ИЛ-96, Mirage-2000 и др.). Структурная схема устройства, реализующего алгоритм распознавания типа наблюдаемого объекта по СРЛП, представлена на рисунке 1.

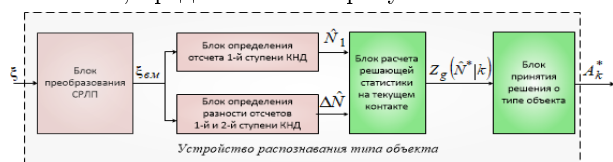


Рис. 2 – Структурная схема устройства распознавания типа наблюдаемого объекта

В блоке преобразования СРЛП путем удаления планерной составляющей из СРЛП, осуществляется выделение отсчетов, которые характеризуют ВМ наблюдаемого объекта $\xi_{ВМ}$. В блоке определения 1-й ступени КНД из спектральных отсчетов ВМ $\xi_{ВМ}$ выделяются отсчеты спектра значения которых превысили адаптивный порог обнаружения. Производится расчет кратности отсчетов спектра, превысивших порог, по отношению к другим значениям спектральных отсчетов $\xi_{ВМ}$. Из сформированного массива выбирается элемент с максимальным значением количества кратности \hat{N}_1 . От спектра сигнала рассчитывается автокорреляционная функция. К отсчетам полученной автокорреляционной функции одностороннего СРЛП применяется алгоритм пикового детектирования [5]. Среди полученных после пикового детектирования значений выбирается первый отсчет, который будет являться оценкой разности числа лопаток между первой и второй ступенью двигателя ($\Delta\hat{N}$). Полученная оценка $\Delta\hat{N}$ поступает в блок расчета решающей статистики где определяется коэффициент правдоподобия $Z(\hat{N} | k)$ для каждого распознаваемого типа объекта. В блоке принятия решений по максимальному значению коэффициента правдоподобия определяется тип наблюдаемого объекта. С целью оценки эффективности работы устройства определения типа наблюдаемого объекта было проведено математическое моделирование. Для математического моделирования рассматривался класс «реактивный истребитель» для которого были выбраны представители, имеющие турбореактивные двигатели с несколькими ступенями КНД: «Mirage-2000», Су-27, F-18, F-22, Су-25. В качестве входного сиг-

нала использовалась обобщенная модель, учитывающая закономерности отражения сигнала от двигательных установок [4]. В качестве показателей, характеризующих эффективность функционирования устройства радиолокационного распознавания, рассматривались значения вероятности правильного распознавания $D(\rho)$, где ρ - отношение сигнал-шум на выходе устройства когерентного накопления [1]. Результаты математического моделирования представлены на рисунке 2.

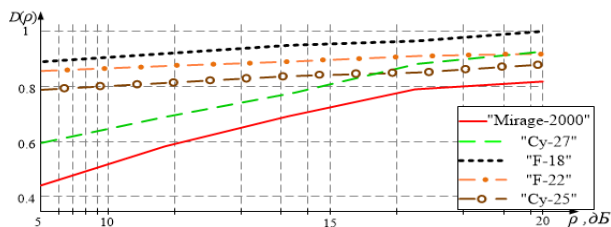


Рис. 3 – Результаты математического моделирования

Представленные результаты математического моделирования подтверждают эффективность разработанного устройства распознавания типа наблюдаемого объекта при высоких отношениях сигнал-шум. Однако при малых отношениях сигнал шум для некоторых типов объектов наблюдается низкая эффективность устройства, связанная с тем что их СРЛП теряют контрастность по отношению к другим СРЛП на фоне шумов.

II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанное устройство позволяет расширить функциональные возможности устройства РЛР за счет дополнительного определения типа наблюдаемого объекта класса «реактивный истребитель», при этом стоит отметить требовательность устройства к отношению сигнал-шум для обеспечения высокой достоверности распознавания.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ширман, Я. Д. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. / Я. Д. Ширман и [др.] // Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Минск, БГУИР, 1994. 64с.
2. Слюсарь, Н. М.З. Рассеяние и вторичная модуляция радиолокационных сигналов динамическими объектами: моногр. / Н. М. Слюсарь //– Минск: ВА РБ, 2015. – 288с.
3. Military jet engine acquisition : technology basics and cost-estimating methodology / Obaid Younossi [et al.]. //Santa Monica, CA 2002. - 167p.
4. Надточий, В. Н. Исследование особенностей описания признаков радиолокационного распознавания воздушных целей в бортовых радиолокационных системах / В. Н. Надточий //Современная наука: актуальные проблемы теории и практики 2017. – №10. – С. 20–24.
5. Новиков, Л. В. Детектирование пиков наномасштабных изображений в шумах / Л. В. Новиков //Научное приборостроение - 2018. – том 28. – №3. – С. 124–129.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ПОДБОРА СОТРУДНИКОВ

Зинченко Е. О., Мануйлова У. С., Никульшина К. Б., Гуринович А. Б.
Факультет информационных технологий и управления,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: {id.a1430, ylianadans, loveapple15112005}@gmail.com, gurinovich@bsuir.by

Исследуются нейросетевые алгоритмы для эффективной организации работы HR-специалистов. Показано, что их применение является составной частью рационального управления в ИТ-отрасли

ВВЕДЕНИЕ

В резюме, как правило, описывается профессиональная деятельность соискателя. Напротив, в социальных сетях можно увидеть личностные качества нанимаемого сотрудника, то есть сложные, биологически и социально обусловленные компоненты личности. На основе этих данных можно получить полный психологический портрет соискателя и сделать вывод, сможет ли влиться потенциальный работник в ваш коллектив и имеет ли шансы поладить с коллегами. Также имеет место оценка soft skills, которые немаловажны для любой команды и проекта в целом.

I. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ОТБОРА СПЕЦИАЛИСТОВ В СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ

В современных реалиях большое количество обрабатываемой информации сильно увеличивает время рассмотрения одного кандидата. В связи с этим можно оптимизировать работу с помощью нейросетей. Компании, которые используют продвинутые системы анализа потенциальных сотрудников, работают в несколько раз эффективнее своих конкурентов и это даёт возможность при найме сотрудников минимизировать субъективизм и сократить расходы компании на подбор персонала. При таком подходе количество HR-специалистов и рекрутеров в течение пяти лет в значительной степени сократится. Но для создания и эксплуатации такой технологии требуется:

- Выделить немалое финансирование для успешного внедрения нейросетей в работу отдела
- Собрать сильную команду разработчиков и аналитиков, data science специалистов которые смогут ввести в работу нейросеть и далее поддерживать ее.
- Перестроить существующую систему подбора кадров под работу нейросети

До запуска нейросети в работу, предварительно необходимо сформировать критерии отбора и обучить её. Возможность обучения – главное преимущество нейронных сетей. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть выявляет сложные зависимости между входными данными и выходными и выполняет обобщение. Критериями для отбора специалиста в социальной сети могут являться:

1. Фотографии

Существует несколько подходов к экспресс-оценке фотографий такие как использование сверхточных нейронных сетей для оценки окружающих предметов, эмоционального состояния, информации о предпочтениях, отношении к работе, нематериальной мотивации. При обучении нейросети с учителем для распознавания образов имеется выборка с истинными ответами на вопрос, что изображено на картинке – метками классов. Изображения подаются на вход нейросети, после чего подсчитывается доля совпадений, сравнивая выданные нейросетью значения с истинными метками классов. В зависимости от степени и характера несоответствия предсказания нейросети, её весовые коэффициенты корректируются, ответы нейросети подстраиваются под истинные ответы, пока доля ошибочных результатов не станет минимальной.

2. Группы, посты, окружение и личные данные

Основной информацией, влияющей на итоговую оценку соискателя системой влияют тексты, опубликованные в профиле. Основным методом для обработки данных является корреляционный анализ. Его основное назначение – выявление связи между двумя и более случайными параметрами. В качестве случайных величин в эмпирических исследованиях выступают значения переменных, измеряемые свойства исследуемых объектов наблюдения. Суть корреляционного анализа заключается в расчете коэффициентов корреляции. Коэффициенты корреляции могут принимать, как правило, положительные и отрицательные значения. Знак коэффициента корреляции позволяет интерпретировать направление связи, а абсолютное значение – силу связи. Таким образом, система интерпретирует человеческую логику, определяет психологический портрет человека и относит его к одному из 16 психотипов, использую типологию Майерс-Бриггс. Выявленная информация помогает определить наиболее подходящих кандидатов, так как для разных профессий подходят люди совершенно разных психотипов.

II. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ПОДБОРЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

Для построения алгоритмов машинного обучения используются многомерные случайные величины. Многомерная случайная величина – это список математических переменных, значения каждого из которых неизвестно, либо потому что значение еще не произошло, или из-за несовершенного знания его значений. Индивидуальные переменные в случайном векторе сгруппированы вместе, потому что они явля-

ются частью единой математической системы – часто они представляют различные свойства отдельных статистических единиц. Кандидат может иметь определенные навыки, опыт работы, уровень образования, возраст. Совокупность же этих особенностей у случайного человека из группы будет случайным вектором. Каждый элемент случайного вектора – это действительное число. При изучении системы случайных величин недостаточно изучить отдельно случайные величины, составляющие систему, а необходимо учитывать связи или зависимости между этими величинами.

Системы подбора специалистов с использованием машинного обучения решают проблемы ранжирования и отбора резюме, которые не точно соответствуют параметрам, так как они имеют дело не просто со стандартными полями и описаниями, а определяют, насколько резюме и конкретный кандидат подходит нанимающей компании. Система обучается как функция от различных признаков пары «резюме/вакансия». Её можно разделить на три основных блока: эвристический метод, быстрая фильтрующая модель, сложная ранжирующая модель.

Применение эвристического метода необходимо из-за отсутствия условий для использования формализованных методов принятия управленческих решений. Также эвристический метод является полезным при большом объёме обрабатываемой информации.

Для компании, которая ранее собирала статистическую информацию по соискателям, их резюме и качестве выполняемой работы, целесообразно использовать сложную ранжирующую модель, основанную на статистических методах. Данные методы предлагают эффективное решение с помощью анализа ранее полученной информации. Так как в резюме и вакансиях имеется множество возможных комбинаций критериев, то для оценки эффективности их взаимосвязей будем использовать величину, называемую ковариацией, то есть меру совместной изменчивости двух случайных величин. Получив значение данной величины, можно определить, как изменяется эффективность одного решения в зависимости от изменения эффективности другого. Таким образом можно проследить насколько повышается эффективность сотрудника при выполнении конкретных задач в зависимости от его навыков и soft-skills.

Для компаний, относящихся к малому и среднему бизнесу, где статистических данных недостаточно для построения модели, используется экспертная система. В основе математической модели этой системы лежит экспертное мнение специалистов, заменяющее ход человеческой мысли в принятии решения. Такой подход оправдан, когда у бизнеса не хватает собственных статистических данных.

Данная информация далее применяется для обучения систем подбора специалистов. Таким образом, последовательно строятся алгоритмы машинного обучения так, чтобы каждый новый из них компенсировал недостатки композиции алгоритмов предшественников.

Нейросетевые алгоритмы для анализа резюме могут использовать Байесовское программирование – формальную систему определения вероятностных

моделей для решения задач, когда не вся необходимая информация доступна данной задаче: электронные резюме должны классифицироваться по одной из двух категорий: релевантные и нерелевантные. Доступной информацией для классификации резюме является их содержание: набор слов, описывающий навыки, ссылки на социальные сети и предыдущие проекты соискателя. Кроме того, классификатор должен быть способным адаптироваться к требованиям и учиться из опыта. Он будет улучшать собственные результаты, сталкиваясь со все большим количеством классифицированных резюме. Здесь используются принципы композируемости (построение абстрактных представлений из частей), причинности (построение сложного из частей) и обучения обучению (использование понятий, распознанных ранее, для упрощения создания новых понятий). Кроме того, классификатор должен быть способным адаптироваться к требованиям и учиться из опыта. Он будет улучшать собственные результаты, сталкиваясь со все большим количеством классифицированных резюме. Здесь используются принципы композируемости (построение абстрактных представлений из частей), причинности (построение сложного из частей) и обучения обучению (использование понятий, распознанных ранее, для упрощения создания новых понятий)

На основе вышеизложенных методов, системы с применением нейросетевых алгоритмов имеют большой потенциал для работы сервисов по ранжированию и составлению рейтинга кандидатов. Также подобные системы успешно применяются в сервисах по анализу текста вакансий, выбора лучшего места и времени публикации для повышения их реализуемости.

Примером успешного внедрения нейросетей в работу может служить сервис AmazingHiring, использующий механизмы машинного обучения, который может самостоятельно найти разработчика, автоматически проанализировав миллионы коммитов на ресурсах GitHub, LinkedIn, Facebook и многих других для выявления наиболее активных и квалифицированных программистов.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большинство неоднозначных и спорных моментов пока еще решаются вручную. Компьютерные системы, алгоритмы и нейросети играют лишь вспомогательную роль. Но через 10–15 лет полная автоматизация и цифровизация многих указанных выше направлений работы возможна и ожидаема.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ личности по социальным сетям как эффективный метод подбора кадров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://srccs.su/analiz-lichnosti-posotsialnym-setyam-podbor-kadrov/>
2. AI в рекрутменте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://amazinghiring.ru/blog/2017/07/17/ai-v-rekrutmente/>
3. Social Networking Websites and Personality Ratings [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wwbp.org/papers/assessment2013/>
4. Kamel Mekhnacha. Bayesian Programming (англ.). – Chapman and Hall/CRC, 2013. – 380 с.

Секция «Автоматизированные
системы обработки информации»

Section «Automated information
processing systems»

ПОДХОД К ПОДАВЛЕНИЮ ШУМОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Адамов Н. А., Шилин Л. Ю.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: adamov.nikooo@gmail.com, dekfitu@bsuir.by

В статье рассматриваются подходы к увеличению качества изображения посредством уменьшения шумов используя разновидность нейронных сетей.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с резким увеличением количества цифровых снимков, полученных с различных фотокамер, растет спрос на более точные и визуально приятные изображения. Однако изображения, сделанные современными камерами, неизбежно ухудшаются из-за шумов, что приводит к ухудшению качества визуального изображения. Поэтому фундаментальной проблемой в области обработки изображений является эффективное уменьшение шумов при сохранении важных для последующего распознавания деталей изображения. Для решения проблемы удаления шумов были разработаны многочисленные подходы, при этом каждый имеет свои преимущества и недостатки.

Данная работа обобщает некоторые устоявшиеся подходы в области шумоподавления, а также рассматривает нейронные сети как инструмент, позволяющий избежать недостатков традиционных алгоритмов. Основное внимание уделяется реализованным моделям сверточных нейронных сетей (Convolutional neural networks - CNN) которые были разработаны для реализации самых разных задач, связанных с компьютерным зрением.

I. Анализ традиционных подходов

Классическим подходом шумоподавления является подход на основе анализа некоторой окрестности. Методы данного подхода шумоподавления направлены на удаление шумов путем вычисления корреляции между соседними пикселями или их группой. На основе корреляции в дальнейшем вычисляются новое значение.

Данный подход можно разделить на две группы: методы пространственной фильтрации и вариационные методы шумоподавления. Пространственная фильтрация изображений – это метод предварительной фильтрации изображения, при котором обработка происходит посредством последовательного применения некоторого оператора к каждой точке изображения. Поскольку фильтрация является одним из основных способов обработки изображений, для уменьшения шумов было создано множество пространственных фильтров, которые мож-

но разделить на два типа, – линейные и нелинейные. Линейные фильтры являются наиболее старыми из применяемых, например, фильтрация по среднему значению. Данный вид фильтрации хорошо справляется с Гауссовским шумом, однако слишком сильно сглаживает изображения с высоким стандартным нормальным распределением шумов. Эту проблему частично решила фильтрация Винера [1], однако ее основной недостаток – проблемы в области резкого изменения контекста.

Большее распространение сейчас имеют нелинейные методы фильтрации, например, медианная фильтрация, взвешенная медианная фильтрация и билатеральный фильтр. Медианные фильтры и их модификации достаточно часто применяются на практике как средство предварительной обработки изображения. Их основным преимуществом является возможность подавлять одиночные импульсные помехи и случайные шумовые выбросы, однако подавление белого и гауссовского шума малоэффективно. Билатеральный фильтр является более мощным инструментом в глубокой обработке изображения. Это происходит за счет вычисления интенсивности каждого пикселя, как взвешенного среднего интенсивностей соседних пикселей. Это требует больших вычислительных ресурсов, однако позволяет более качественно обработать изображение.

В общем, традиционные алгоритмы показывают высокое качество удаления шумов и позволяют выполнить различные виды обработок с различной степенью качества. Однако в угоду качеству приходится жертвовать производительностью, что делает их неэффективными.

II. Современные подходы

В последнее время подходы, основанные на нейронных сетях, показывают хорошую производительность во многих задачах компьютерного зрения. Это, прежде всего, связано с постоянно растущей вычислительной мощностью компьютеров и технологиями, позволяющими портировать рутинные операции работы с числами с центрального процессора (CPU - central processing unit) на графический процессор (GPU - graphics

processing unit). Что позволяет строить и тестировать огромные модели работающих сетей на обычных персональных компьютерах, а так же делегировать задачу обработки вычислительным центрам по сети.

Первой успешно реализованной моделью нейронной сети считается многослойный перцептрон. Данная модель имеет свои преимущества в некоторых областях машинного обучения, однако для работы с изображением не подходят в силу своей архитектурной специфики, которая подразумевает принятие на вход вектора-строки соответствующего пиксельной сетке изображения. Из-за этого сеть становится громоздкой и труднообучаемой. Для решения этой проблемы была разработана другая архитектура сети, которая впоследствии стала называться сверточной [2]. Данная технология отлично зарекомендовала себя в задачах распознавания объектов и лиц, активно используется в медицине для анализа снимков, навигации автомобилей, оснащенных автономными системами, в системах защиты и других сферах.

Суть предложенного подхода заключается в конструировании слоев таким образом, что бы сеть принимала на вход массивы матриц числа, соответствующих группе пикселей конкретной области изображения. Что позволило уменьшить размер модели и сохранить высокую степень устойчивости к масштабированию, преобразованиям и другим видам деформации.

Сверточные нейронные сети уже используются и в задачах шумоподавления. Наиболее популярными являются DnCNN и FFDNet. DnCNN разработана Харбинским технологическим институтом [3] и направлена на удаления гауссовского шума с любым стандартным нормальным распределением и улучшения резкости изображения. Сеть состоит из нескольких блоков слоев, первый это сверточный слой (64 фильтра размером $3 \times 3 \times C$, где C – это количество цветов, составляющих изображение), затем идет блок из сверточных слоев с фильтрами размером $3 \times 3 \times 64$. Заключительным блоком служит слой, который применяется для восстановления выходных данных. Первый и второй блок имеют функцию активации ReLU. DnCNN не хватает гибкости для работы с пространственно изменяющимся шумом, что ограничивает их применение в практическом шумоподавлении.

Для решения данной проблемы была разработана FFDNet [4]. FFDNet с точки зрения архитектуры похожа на DnCNN, однако имеет существенные преимущества. Например, способность эффективно обрабатывать широкий диапазон уровней шума или настраивать карту уровня шума в качестве входных данных. Так же входной блок распределяет изображение в соот-

ветствии с разрешением изображения. Это позволяет уменьшить сложность алгоритма. Слой на выходе восстанавливает нелинейную выходную информацию к разрешению картинки на момент входа. Данное усовершенствование предназначено для поиска оптимального решения по сложности архитектуры и качеству выходных данных.

Как было сказано выше, при схожей архитектуре, но с незначительными доработками, например, входного слоя, можно увеличить производительность и качество сети. Предлагаемый подход заключается в захвате достаточного количества реальных обучающих пар, чтобы можно было охватить большее пространство шумов изображения. Помимо обучающих данных, надежная архитектура и надежное обучение также играют важную роль шумоподавителя CNN. Для надежной архитектуры многообещающим направлением является разработка глубокой многомасштабной CNN, которая включает в себя процедуру распознавания конкретного шума. Это можно реализовать в виде дополнительного входного слоя, который анализирует шумы изображения и сам принимает решение о дальнейшей очистки от шума. Ожидается, что такая сеть унаследует преимущества многомасштабности, это связано с тем, что уровень шума снижается при больших масштабах.

III. Выводы

На основании представленной информации можно сделать вывод, что использование сверточных нейронных сетей в задачах обработки изображений, а в частности шумоподавления, имеет множество возможностей для работы с разного вида шумов и позволяет увеличивать производительность и качество обработки в сравнении с традиционными алгоритмами шумоподавления. Ожидается, что предложенный подход станет качественным усовершенствованием и дополнением к уже существующим CNN.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Восстановление изображения с помощью фильтрации Винера [Электронный ресурс] / Habr – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/424987>. - Дата доступа: 11.10.2022.
2. Сикорский, О.С. Обзор свёрточных нейронных сетей для задачи классификации изображений / О. С. Сикорский // Новые информационные технологии в автоматизированных системах – Москва, 2017. – 150 с.
3. Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising [Electronic Resource] / GitHub. – Mode of access: <https://github.com/cszn/DnCNN>.
4. Kai, Z. FFDNet: Toward a Fast and Flexible Solution for CNN based Image Denoising / Z. Lei, Z. Wangmeng, Z. Kai // IEEE Transactions on Image Processing – 2018. – Volume 27. Issue 9 DOI: 10.1109/TIP.2018.2839891.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТУДЕНЧЕСКИМ ОБЩЕЖИТИЕМ

Басак Д. В., Низовцов Д. В., Нестеренков С. Н.

Отдел сетевых технологий, отдел информационных технологий, кафедра программного обеспечения информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {d.basak, d.nizovtsov, s.nesterenkov}@bsuir.by

В статье описывается создание информационной системы по управлению студенческим общежитием. Приводится описание основного алгоритма приложения, некоторых возможностей системы, а также ее цели и назначения.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день без баз данных, которые считаются основой современных информационных систем, работа многих организаций не представляется возможной. Системы баз данных доступны и понятны в пользовании большому кругу лиц, которые могут создавать собственные базы данных и приложения. Автоматизация бизнеса позволяет сделать проще расчет ключевых показателей и помочь в оперативном создании сводных отчетов. В настоящее время управление студенческим общежитием нельзя назвать эффективным без использования автоматизированной системы управления учитывая что ресурсы для содержания жилого фонда значительно ограничены.

По степени сложности автоматизации этот объект не очень отличается от автоматизированных процессов бизнеса средних организаций, например гостиничного комплекса.

В то же время студенческое общежитие не представляет собой гостиничный комплекс. У него специфическая система управления, основным отличительным признаком которой является связь с административными структурами университета [1], а также его учебным процессом.

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При проектировании информационной системы следует выделить основные задачи, которые должны быть выполнены:

- установление целей и функций, которые должны быть реализованы;
- информационно-логическое моделирование объекта, отображающего информацию, которая должна размещаться в базе;
- построение логической структуры базы данных;
- разработка алгоритмов решения задач;
- реализация задачи посредством экранных форм, запросов и отчетов.
- создание диалогового приложения пользователя, объединяющего все процессы, связанные с решением задачи: ввод данных,

корректировка, реализация запросов, вывод отчетов на экран и печать [2].

Цель управления состоит в расселении людей по заявкам, и выселение жильцов в случае нарушения дисциплины или наличия иных взысканий. Для выполнения цели в процессе управления решаются такие задачи, как:

- учет наличия свободных комнат и их вместимость;
- учет проживающих жителей;
- учет студенческих взысканий;
- ведение журнала учета прописки;
- хранение и создание заявок на заселение.

Кроме вышеперечисленных задач по хранению данных в системе должна быть реализована возможность осуществлять поисковые задачи, такие как поиск жильца с фамилией из списка проживающих. Другой задачей поиска является установление наличия свободного места по количеству мест в комнате. Помимо этого, в данной задаче может быть организована статистическая обработка данных; например, учет числа проживающих студентов и магистрантов в общежитии.

При реализации информационной системы следует предусмотреть возможность разделения пользователей на несколько групп:

- группа программно-технического сопровождения – администратор системы, программисты;
- сотрудники университета и студенческого общежития;
- студенты;

Для получения возможности использования системы, пользователи должны пройти аутентификацию. После этого пользователь может получить доступ к разрешенным ему функциям, которые ассоциируются с его ролью в системе. Права доступа для каждого типа назначает пользователь с типом Администратор. Как правило, Администратор имеет доступ ко всем действиям обработки данных.

II. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

В соответствии с поставленными задачами был реализован модуль, который был интегрирован в уже существующую информационную си-

стему университета. Студенты могут оставлять заявки на заселение в общежитие, и отслеживать любые изменения связанные с процессом их заселения, просматривать информацию, касающуюся их текущего проживания в общежитии.

Сотрудники студенческого общежития могут заселять студентов (см. рис. 1), менять количество свободных комнат и их вместимость.

Ожидание		Очередь		К заселению		Заселённые		Отклонённые	
ФИО	Группа	Льгота	Взыскания	Статус заявки	Дата постановки на очередь	Действие			
Иванов Максим Витальевич	12341234	Без льгот		К заселению	02.06.2021, 13:53:51	↔ ↻ ✉ 📄			
Смирнов Артур Геннадьевич	12341234	Без льгот		К заселению	02.06.2021, 15:19:40	↔ ↻ ✉ 📄			
Петров Максим Анатольевич	0000555	Приоритетное право		К заселению	02.06.2021, 15:30:48	↔ ↻ ✉ 📄			
Сидоров Иван Николаевич	042303	Без льгот		К заселению	03.06.2021, 11:27:38	↔ ↻ ✉ 📄			
Иванов Андрей Сергеевич	140311	Приоритетное право		К заселению	03.06.2021, 14:29:55	↔ ↻ ✉ 📄			
Петров Вадим Юрьевич	110604	Без льгот		К заселению	03.06.2021, 17:32:18	↔ ↻ ✉ 📄			
Смирнов Роман Александрович	062331	Приоритетное право		К заселению	07.06.2021, 11:21:01	↔ ↻ ✉ 📄			
Иванов Максим Викторович	023333	Без льгот		К заселению	07.06.2021, 14:01:54	↔ ↻ ✉ 📄			

Рис. 1 – Очередь на заселение

Для повышения удобства и скорости создания различных отчетов была реализована возможность выгружать данные из информационной стемы в виде электронных таблиц. Рассмотрим некоторые из этих выгрузок:

- список студентов проживающих в общежитии, с возможностью указания конкретного факультета и номера общежития для формирования списка;
- список студентов, подавших заявление на общежитие, с возможностью указания права на заселение, таких как: приоритетное право, первоочередное право и т.д.;
- список свободных мест в общежитии, с возможностью указания номера общежития для формирования списка;
- список для протокола к заселению, содержащий информацию о периоде проживания, факультете, комнате проживания студента.

Основным бизнес-процессом студенческого общежития является заселение студентов. Рассмотрим по какому алгоритму он будет проходить в рамках реализованной системы. Первым делом студент должен подать заявку на заселение в интегрированной информационной системе «БГУИР: Университет» [4]. После этого он может отслеживать различную информацию по своей заявке, например: в каком статусе находится заявка, дату подачи, номер в очереди, а также прикрепить к заявке документы, которые необходимо предоставить для заселения. Помимо этого ему открывается возможность скачать заявление в общежитие, с уже заполненной персональной информацией, которая берется из информационной системы университета. Далее со-

трудники студенческого городка, которые непосредственно отвечают за заселение, просматривают документы, которые подавал студент вместе с заявкой, и либо принимают их, либо отклоняют, с возможностью указания причины отказа. После этого студента можно заселить, предварительно введя дату создания договора о проживании, даты начала и окончания проживания, номер блока и общежития, в которых будет проживать студент.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная автоматизированная система обладает высокой эффективностью, обеспечивая достоинства, ставшие обыденной практикой [4], например:

- ускоряет процесс обслуживания жителей студенческого городка и совершенствует его качество;
- повышает прозрачность и объективность в составлении отчетов;
- дает возможность анализировать деятельность по распределению жилого фонда, а также более тщательно координировать сотрудничество с образовательными и научно-исследовательскими подразделениями университета;
- благодаря высокой информированности способствует повышению эффективности работы по обеспечению безопасности проживания в студенческом городке.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нестеренков, С. Н. Автоматизированная система для организации образовательного процесса на основе нейронных сетей / С. Н. Нестеренков, Н. В. Ющенко, А. Д. Радкевич // Актуальные вопросы профессионального образования = Actual issues of professional education : тезисы докладов II Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 11 апреля 2019 г.) / редкол. : С. Н. Анкуда [и др.]. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 195–196.
2. Нестеренков, С. Н. Эргономичный пользовательский интерфейс как средство повышения эффективности работы автоматизированной системы управления в учреждении высшего образования / С. Н. Нестеренков, М. И. Макаров, Н. В. Ющенко, А. Д. Радкевич, О. О. Шатилова, Т. А. Рак // Информационные технологии и системы 2018 (ИТС 2018) : материалы междунар. науч. конф., Минск, 25 окт. 2018 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2018. – С. 180–181.
3. Мигалевич, С. А. Концепция интегрированной информационной системы как технологическая основа построения системы управления университетом / С. А. Мигалевич, Н. В. Измашкина, С. Н. Нестеренков, Н. Н. Дубешко // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы X Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 7–8 декабря 2017 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Б.В. Никульшин [и др.]. – Минск, 2017. – С. 184–185.
4. Информационные технологии: учебник / Ю. Ю. Громов [и др.]. – Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 260 с.

ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРНОГО УЧЕТА ДАННЫХ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Белькин В. О., Громыко И. Л.

Кафедра электротехники, Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Республика Беларусь

E-mail: Belskin.blad@yandex.by, ivangromyko95@mail.ru

В работе представлен современный метод технической диагностики трансформаторов с помощью компьютерного анализа данных и сверточных нейронных сетей. Применение искусственного интеллекта позволит в режиме реального времени, не выводя оборудование из работы, анализировать информацию, классифицировать различные отклонения и диагностировать дефекты.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день большинство трансформаторов системы электроснабжения железнодорожной отрасли страны отработали установленный срок службы – 25 лет. В соответствии с положением разработан новый комплексный метод технической диагностики, который позволяет повысить надежность работающих трансформаторов; сократить время ремонтов; увеличить срок службы трансформаторов; значительно сократить стоимость ремонтных работ.

I. ОПИСАНИЕ МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Суть метода заключается в следующем: первичные преобразователи подключаются к трансформатору, регистрируют параметры и отправляют сигнал в базовый блок микроконтроллера прибора, в котором искусственный интеллект сравнивает измеренные значения с заданными и классифицирует неисправность. При проведении эксперимента в трансформатор заблаговременно вводились неисправности и в режиме реального времени классифицировался тот или иной режим работы электрической машины с помощью нейромоделирования. В тоже время проводился анализ информации с использованием следующих данных:

- напряжений и токов первичной и вторичной обмоток;
- активные, реактивные и полные мощности по высокой и низкой стороне трансформатора;
- анализировался состав окружающего воздуха на наличие частиц задымления от лака и бумажной изоляции с помощью устройства “электронный нос”;
- измерялась температура в зоне КЗ и на удалении 5 см от обмоток;
- проводилось осциллографирование и разложение по гармоникам кривых тока и напряжения;
- выполнено более 500 измерений при нормальном режиме работы и в режиме неисправности.

В качестве объекта исследования использовались однофазные трансформаторы малой мощности с воздушным и масляным охлаждением, применяемые при продольном электроснабжении железнодорожных потребителей и в линиях автоматической блокировки.

II. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА

Микропроцессорное устройство (рис. 1) включает следующее оборудование: датчики; часы реального времени; модернизированный под микропроцессорное устройство пробник Паздникова; платы Z7-Lite 7010.



Рис. 1 – Внешний вид микропроцессорного устройства

Применяемые датчики:

1. Датчики температуры MLX90614ESF (более трех). Это инфракрасный термометр для бесконтактных измерений температуры. Датчик измеряет температуру объекта бесконтактным способом и температуру окружающей среды на кристалле датчика;
2. Датчик температуры, давления и влажности BME280;
3. Энергометры PZEM-004t-100A (шесть). Данный энергометр позволяет измерять переменные ток, напряжение, активную мощность, электроэнергию, частоту;
4. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) ADS1115.

Пробник Паздникова. Предназначен для проверки обмоток трансформаторов, дросселей, электродвигателей, реле, магнитных пускателей, контакторов и других катушек. Пробником уда-

ется определить не только целостность обмотки, но и наличие в ней короткозамкнутых витков. В качестве основы микропроцессорного устройства использовалась плата Z7-Lite 7010. Это программноаппаратная платформа, предназначенная для приема, анализа, хранения и передачи информации. На данной программноаппаратной платформе был разработан одноплатный компьютер, который принимает информацию с датчиков, обрабатывает её, анализирует и затем через локальную сеть выводит на экран получившиеся результаты. Основой данной платы служит программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) XCZCLG400-1. Для данной интегральной схемы, в САПР Vivado 2018.3 был разработан блок-дизайн программной части микропроцессорного устройства.

III. КЛАССИФИКАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Для классификации неисправностей используется нейронная сеть, которая в режиме реального времени анализирует информацию, не выводя трансформатор из работы, что предоставляет дополнительные возможности в обеспечении низкого уровня безаварийности и соблюдения режимов бесперебойного электроснабжения. При этом затраты на внедрение данной технологии нейромоделирования относительно невелики, а эффективность от применения будет существенной. Примеры изображений, которые передаются на нейронную сеть, отвечающую за идентификацию по отношению напряжений, приведены на рисунке 2.

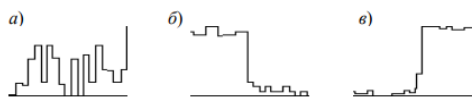


Рис. 2 – Изображения на входе нейронной сети
(а) - нормальный режим работы, (б) - МКЗ на первичной обмотке, (в) - МКЗ на вторичной обмотке

Рис. 2 – Изображения на входе нейронной сети

После детектирования изображений производится окончательный анализ, результатом которого является одно из чисел: 0, 1 или 2. Данные числа обозначают те же неисправности, что и номера классов на выходе нейронной сети. В ходе исследования были построены графики (рис 3, рис. 4), где по вертикальной оси были отложены номера неисправностей, а по горизонтальной – время, измеряющееся в секундах.

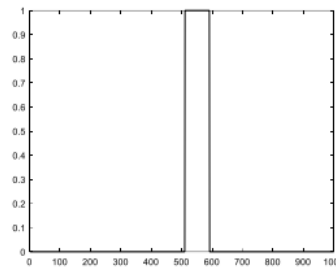


Рис. 3 – Результаты проведения испытаний при обнаружении МКЗ на первичной обмотке

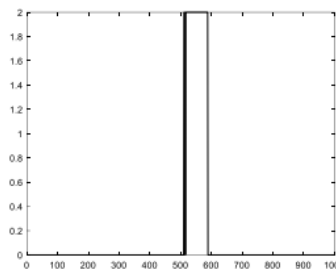


Рис. 4 – Результаты проведения испытаний при обнаружении МКЗ на вторичной обмотке

На основе Т-образной схемы замещения (рис. 5) в программе Matlab разработана математическая модель, которая позволит обучать нейронные сети и применять данный метод технической диагностики к абсолютно любому трансформатору.

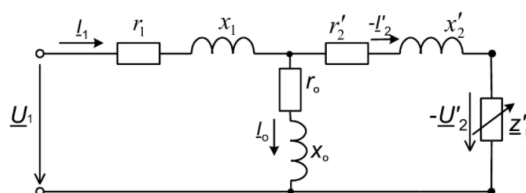


Рис. 5 – Т-образная схема трансформатора

Научная новизна материала статьи заключается в практическом применении сверточных нейронных сетей, которые в режиме реального времени анализируют информацию, классифицируют различные отклонения и диагностируют определенный вид дефекта. Практическая значимость – в снижении неплановых отказов, своевременном предупреждении о развитии повреждения.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Bundzel, M. Object identification in dynamic images based on the memory-prediction theory of brain function / M. Bundzel, S. Hashimoto // Journal of Intelligent Learning Systems and Applications. – 2010. – Vol. 2, no 4. – P. 212–220.
3. Буй, Т. Т. Ч. Алгоритмическое и программное обеспечение для классификации цифровых изображений с помощью вейвлет-преобразования Хаара и нейронных сетей / Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, В. Г. Спицын // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319, № 5. – С. 103–106.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ПАТОЛОГИЧЕСКОГО ТРЕМОРА

Боброва Т.С., Ярмолик В.И., Протченко Е.В.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {t.bobrova, v.jarmolik, protchenko}@bsuir.by

В этой статье рассматривается возможность анализа и прогнозирования патологического тремора с использованием модифицированной рекуррентной модели нейронной сети.

ВВЕДЕНИЕ

Феномен глобального старения увеличил число людей с возрастными неврологическими двигательными расстройствами, включая болезнь Паркинсона (БП) и эссенциальный тремор (ЭТ). Патологический тремор рук считается одним из наиболее частых двигательных симптомов таких нарушений и может серьезно повлиять на независимость и качество жизни пациентов.

Проблема анализа патологического тремора заключается в разнообразии его видов, субъективной окраске, а также отсутствии значительных объемов экспериментальных данных и общих методов моделирования, которые могли бы в полной мере предоставить спектрально-временные характеристики сигнала движения конечности.

I. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА ПАТОЛОГИЧЕСКОГО ТРЕМОРА

Патологический тремор рук является частым моторным симптомом некоторых возрастных неврологических двигательных нарушений и описывается как произвольные и псевдоритмические движения, влияющие на координацию, точность и скорость предполагаемых движений. В отличие от физиологического тремора, который определяется низкоамплитудными вибрациями в спектральном диапазоне от 6 до 14 Гц, патологический тремор представляет собой движение с более высокой амплитудой, происходящее в более широком диапазоне частот 3–14 Гц и включает следующие виды тремора: *тремор покоя* (3–6 Гц), возникающий, когда конечность расслаблена и на что-нибудь опирается (обычно наблюдается при БП); *тремор действия*, возникающий во время произвольного сокращения мышц; *интенционный тремор*, возникающий при нарушении функции мозжечка (например, вследствие инсульта, травмы, или при рассеянном склерозе).

Тремор действия может быть следующих видов: постуральный, кинетический и изометрический. Постуральный и кинетический тремор обычно наблюдается у пациентов с ЭТ. *Постуральный тремор* (5–8 Гц) наиболее максимален,

когда конечность удерживается в фиксированном положении против действия силы тяжести (например, при вытянутых руках), *кинетический тремор* возникает в заключительной части произвольного движения небольшой амплитуды. Подвидом кинетического тремора является *интенционный тремор* (3–10 Гц), возникающий при целенаправленном движении, его амплитуда высокая, а частота низкая в течение всего движения, но после достижения цели тремор усиливается (например, при пальце-носовой пробе). *Изометрический тремор* действия возникает во время сокращения мышц против жесткого неподвижного объекта, например, при захвате твердого объекта, который блокирует движение конечности и изменяет длину мышц[1].

Тремор верхних конечностей значительно ограничивает людей в повседневной жизнедеятельности. В связи с этим, за последнее десятилетие были предложены методы и технологии, позволяющие погасить или компенсировать произвольное движение тремора, способствуя компоненту произвольного движения пациента. Точность технологии компенсации тремора (например, сложные экзокостюмы, умная ложка и т.д.) в значительной степени зависит от точности оценки тремора, эффективности и спектрально-временного разрешения алгоритма, поскольку неточные или медленные методы обработки не позволяют обеспечить надлежащую компенсацию.

Несмотря на острую потребность в методах компенсации патологического тремора рук, существует потребность в надежной, адаптируемой и общей структуре обработки данных, которая может быть непосредственно использована в клинических условиях для оценки, выделения из общего сигнала движения и прогнозирования тремора с высоким спектрально-временным разрешением.

Подбор дозы и режима терапии также основан информации о тяжести и характеристиках патологического тремора, которые оцениваются и контролируются путем записи и обработки движений рук в клинических условиях при выполнении различных диагностических тестов.

Тем не менее, основной остающейся проблемой при оценке тремора действия является выделение произвольных и непроизвольных компонентов движения, что не является точным при использовании традиционных подходов.

Помимо проблем, связанных с вычислительной мощностью и возможностями существующих структур для окончательной прогностической модели, существует потребность в анализе тремора на основе значительного объема данных, который охватывает возможные патологические вариации, вызываемые различными типами тремора, с точки зрения спектрально-временного поведения, динамической природы, временных зависимостей и основного производимого движения. Все выше перечисленные проблемы возможно решить с использованием техники моделирования глубоких нейронных сетей.

II. ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУРРЕНТНОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Модели рекуррентной нейронной сети (RNN) являются категорией методов машинного обучения, которые специализируются на анализе последовательности данных и обнаружении долгосрочных и краткосрочных временных зависимостей в сигналах на основе нелинейной встроенной памяти. В отличие от многослойных перцептронов, рекуррентные сети могут использовать свою внутреннюю память для обработки последовательностей произвольной длины. В последнее время наибольшее распространение получили сеть с долговременной и кратковременной памятью (LSTM) и управляемый рекуррентный блок (GRU)[2].

Модель RNN состоит из последовательности скрытых ячеек, используемых для обработки потока данных. В моделях RNN в каждый момент времени комбинация входной последовательности, т. е. сигнала движения руки, и скрытого вектора состояния предыдущего момента времени анализируется вместе, чтобы обновить вектор состояния и передать его в следующий момент времени. Этот процесс продолжается до тех пор, пока вся последовательность измерений движения руки не будет проанализирована.

Типичное представление рекуррентной нейронной сети представлено на рисунке 1.

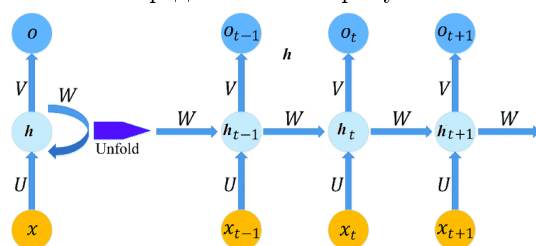


Рис. 1 – Архитектура рекуррентной нейронной сети

Описывается архитектура данной нейронной сети следующими уравнениями:

$$h(t) = f(b + Wh(t-1) + Ux(t_1 : t)) \quad (1)$$

$$O(t) = \text{softmax}(c + (b + Wh(t))) \quad (2)$$

где $x(t_1 : t) = [x(t_1), \dots, x(t)]^T$ - сигнал движения руки от времени ($t_1 < t$) до времени t (используется в качестве входной последовательности сети); $O(t)$ — выходной результат в момент времени t соответственно, $h(t)$ - вектор скрытых признаков; b — вектор смещения для входных узлов; W — матрица весов для соединений «скрытые-скрытые»; U обозначает входные-скрытые веса RNN; c — вектор смещения для выходных узлов; V — матрица весов для скрытых соединений с выходом; $f()$ — обозначает нелинейную функцию. Отметим, что веса и смещения в уравнениях 1 - 2 получаются и оптимизируются на этапе обучения сети.

Общей проблемой классических версий моделей RNN является их слабость в обработке длинных входных последовательностей и в случае, когда входная последовательность включает нестационарные шаблоны (например, извлечение сигнала патологического тремора из общего сигнала движения руки. Для решения этой проблемы, используют два шлюза, а именно «ворота сброса» и «ворота обновления», они могут быть интегрированы в обычные скрытые ячейки и ячейки GRU. Ворота сброса определяют степень отбрасывания старой информации и рассмотрения данных из ввода в текущем времени. Шлюз обновления определяет степень обновления скрытого состояния на основе вновь поступивших данных [3].

Используя RNN, можно ожидать, что выходные данные сети для самых начальных входных выборок будут неточными, но по мере того, как информация распространяется по сети и анализируется больше выборок входной последовательности, выходные данные становятся более точными. Следовательно, выходная последовательность становится более надежной после переходной фазы начальных входных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении следует отметить, что модифицированная архитектура рекуррентной нейронной сети может применяться для обработки сигналов движения рук, а также для оценки и прогнозирования произвольных движений пациентов. Данную архитектуру можно преобразовать в глубокую путем объединения нескольких слоев RNN так, что выходные данные одного уровня служат в качестве входных данных для следующего уровня.

1. Справочник MSD [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.msmanuals.com>
2. Яхьяева, Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети / Г. Э. Яхьяева // – 2006. – 316с.
3. Shahtalebi, S., Atashzar, S.F., Samotus, O. et al. PHTNet: Characterization and Deep Mining of Involuntary Pathological Hand Tremor using Recurrent Neural Network Models / S. Shahtalebi, S.F. Atashzar, O. Samotus et al. // Scientific Reports – 2020 - № 2195.

АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ВИБРОКОНТРОЛЯ

Бранцевич П.Ю., Лапицкая Н.В., Медведев С.А. Леванцевич В.А.
Кафедра программного обеспечения информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: branc@bsuir.edu.by, lapan@bsuir.by, lvn@bsuir.by

Анализируются подходы оценки достоверности функционирования систем контроля вибрации. Рассматривается способ оценки достоверности функционирования таких систем, основанный на использовании устройства контроля ошибок и логико-вероятностного метода оценки.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние производственного объекта характеризуется многими параметрами, имеющими различную физическую природу. При эксплуатации механизмов и агрегатов одними из важнейших параметров, отражающим их техническое состояние, являются интенсивность и спектральный состав вибрации.

Для контроля вибрационных сигналов используют различные стационарные и мобильные измерительно-вычислительные комплексы и приборы [1]. Одним из основных условий эффективного функционирования систем виброконтроля является обеспечение требуемого уровня достоверности функционирования (ДФ) при обработке данных [2]. К числу наиболее эффективных мер по обнаружению отказов, сбоев и выявлению недопустимых отклонений в работе таких относятся аппаратный и программный контроль.

I. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Одним из способов решения задачи аппаратного контроля является дублирование исходного устройства. Очевидным достоинством этого способа является возможность обнаружения всевозможных ошибок, однако, такой подход требует значительных (более чем в два раза) аппаратных затрат.

Вместе с тем далеко не всегда целесообразно осуществлять аппаратный контроль методом дублирования, поскольку обычно класс подлежащих обнаружению ошибок в исходном устройстве ограничен. Поэтому на основании исследования особенностей исходного, функционального устройства для обнаружения ошибок этого класса можно построить устройство контроля, более простое, нежели исходное. Достоверность функционирования может быть оценена вероятностью, с которой определяется истинность выходного результата работы устройства (системы) за заданный промежуток времени [3]. В общем случае ДФ можно представить в виде:

$$D(t) = Ppr(t) + Poo(t)$$

где $Ppr(t)$ - вероятность правильной (безотказной и бессбойной) работы устройства (системы) за заданный период времени t ;

$Poo(t)$ - вероятность обнаружения отказа или сбоя, в случае их возникновения, за заданный период времени.

Помимо истинного результата, на выходах устройства (системы) с контролем может иметь место неправильный результат. Вероятность появления этой группы событий обозначается $Pnr(t)$. Все перечисленные вероятности событий образуют полную группу:

$$Ppr(t) + Poo(t) + Pnr(t) = 1$$

ДФ любой анализируемой системы зависит от достоверности работы каждого функционального устройства (ФУ), входящего в ее состав. В качестве логико-вероятностного метода анализа достоверности функционирования сложных технических систем был предложен метод, основанный на сочетании логического и вероятностного подходов при оценке показателей достоверности функционирования сложных технических систем [3].

II. РЕАЛИЗАЦИЯ

Сущность предлагаемого способа оценки достоверности функционирования рассмотрим на примере анализа достоверности функционирования функционального устройства с контролем, приведенного на рисунке 1.

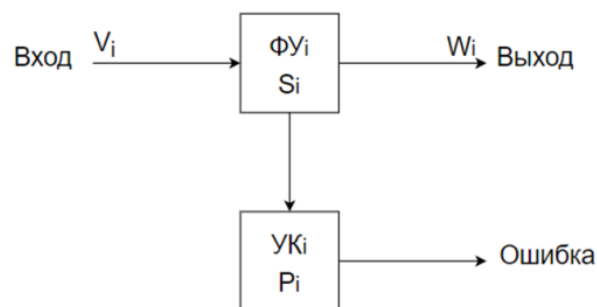


Рис. 1 – Функциональное устройство с контролем.

Введем следующие обозначения:

$W_i = \{w_{i1}, w_{i2}, w_{i3}\}$ - множество событий, определяющих состояние результатов на выходе i -го ФУ, где w_{i1} - результаты правильные; w_{i2} - обнаружена ошибка; w_{i3} - ошибка не обнаружена.

$V_i = \{v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}\}$ - множество событий, определяющих состояние данных на входе i -го ФУ, где v_{i1} - входные данные правильные; v_{i2} - во входных данных обнаружена ошибка; v_{i3} - ошибка во входных данных не обнаружена.

$K_i = \{k_{i1}, k_{i2}, k_{i3}\}$ - множество событий, определяющих состояние УК, контролирующего i -ое ФУ, где k_{i1} - устройство контроля работает правильно; k_{i2} - УК находится в состоянии обнаружения собственной неисправности; k_{i3} - УК находится в состоянии необнаружения собственной неисправности.

$S_i = \{s_i, \bar{s}_i\}$ - множество событий, определяющих состояние i -го ФУ, где s_i - устройство контроля работает правильно; \bar{s}_i - УК находится в состоянии обнаружения собственной неисправности

$L_{ij} = \{l_{ij}, \bar{l}_{ij}\}$ - множество событий, определяющих обнаружение (l_{ij}) или необнаружение (\bar{l}_{ij}) ошибки УК, контролирующим i -е ФУ, при условии, что УК находится в состоянии $j = 1-3$.

Для определения показателей ДФ устройства с контролем требуется составить таблицу истинности булевых функций, соответствующих наступлению того или иного события. При этом считается, что, если какое-то событие имело место, этому событию приписывается значение булевой единицы, в противном случае – булевого нуля. Ниже приведен фрагмент таблицы истинности.

Таблица 1 - Таблица для определения состояний результатов на выходе ФУ с контролем

v_{i1}	v_{i2}	v_{i3}	k_{i1}	k_{i2}	k_{i3}	$l_{i/j}$	$\bar{l}_{i/j}$	w_{i1}	w_{i2}	w_{i3}
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1

Из таблицы истинности достаточно просто получить булевые функции, определяющие состояние выходных данных ФУ с контролем. Каждое из событий множества W_i осуществляется при определенных комбинациях событий множеств V_i, K_i, S_i, L_i :

$$W_{i1} = v_{i1}k_{i1}\bar{l}_{i/1}s_i \vee v_{i1}k_{i1}l_{i/1}s_i \vee v_{i1}k_{i3}\bar{l}_{i/3}s_i \vee v_{i1}k_{i3}l_{i/3}s_i;$$

$$W_{i2} = v_{i1}(k_{i1}l_{i/1}\bar{s}_i \vee k_{i2}l_{i/2}\bar{s}_i \vee k_{i2}\bar{l}_{i/2}s_i \vee k_{i2}l_{i/3}s_i) \vee v_{i3}(k_{i1}l_{i/1}\bar{s}_i \vee k_{i1}l_{i/1}s_i \vee k_{i2}l_{i/2}\bar{s}_i \vee k_{i2}l_{i/2}s_i \vee k_{i3}l_{i/3}\bar{s}_i \vee k_{i3}l_{i/3}s_i)$$

$$W_{i3} = v_{i1}\bar{s}_i(k_{i1}\bar{l}_{i/1} \vee k_{i2}\bar{l}_{i/2} \vee k_{i3}\bar{l}_{i/3}) \vee v_{i2}\bar{s}_i(k_{i1}\bar{l}_{i/1} \vee k_{i2}\bar{l}_{i/2} \vee k_{i3}\bar{l}_{i/3}) \vee v_{i3}\bar{s}_i(k_{i1} \vee \bar{l}_{i/1} \vee k_{i2} \vee \bar{l}_{i/2} \vee k_{i3}\bar{l}_{i/3})$$

Применив к полученным выражениям для W_{i1}, W_{i2}, W_{i3} операцию замещения булевых функций вероятностными, получим искомые значения вероятностей:

$$P_{w_{i1}} = P_{v_{i1}}P_{v_{s1}}(P_{k_{i1}} + P_{k_{i3}})$$

$$P_{w_{i2}} = (P_{v_{i1}}\bar{P}_{s1} + P_{v_{i3}}) \sum_{j=1}^3 P_{k_{ij}}P_{l_{i1}} + P_{s_i}P_{k_{i2}} + P_{v_{i2}}$$

$$P_{w_{i3}} = (P_{v_{i1}}\bar{P}_{s1} + P_{v_{i3}}) \sum_{j=1}^3 P_{k_{ij}}P_{\bar{l}_{ij}}$$

где

$P_{w_{i1}}(P_{v_{i1}})$ - вероятность получения правильных результатов на выходе (входе) i -го ФУ;

$P_{w_{i2}}(P_{v_{i2}})$ - вероятность обнаружения ошибки в выходных результатах (входных данных);

$P_{w_{i3}}(P_{v_{i3}})$ - вероятность не обнаружения ошибки в выходных результатах (входных данных);

$P_{j_i}(\bar{P}_{j_i})$ - вероятность правильной (неправильной) работы i -го ФУ;

$P_{k_{ij}}(P_{v_{i3}})$ - вероятность нахождения УК, контролирующего i -ое ФУ в состоянии j ;

$P_{l_{ji}}(\bar{P}_{l_{ji}})$ - вероятность обнаружения (не обнаружения) ошибки УК в состоянии J .

III. ВЫВОДЫ

Предложенный подход был использован для анализа достоверности функционирования систем с различным соединением функциональных элементов (параллельным, последовательным замкнутых систем) и использован для оценки достоверности функционирования автоматической системы управления виброиспытаниями АСУВ.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль. Справочник. Том 7. Книга Вибродиагностика /Ф.Я. Балицкий и др. М.: Машиностроение, 2005. – 485 с.
2. Семёнов С. С. Оценка качества и технического уровня сложных систем. Практика применения метода экспертных оценок. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 352 с.
3. Щербаков Н.С. Самокорректирующие дискретные устройства. – М.: Машиностроение, 1975. – 216 с.

USE OF VIRTUAL ROBOTICS IN THE DEVELOPMENT OF STUDENTS' ENGINEERING AND CREATIVE ABILITIES

Buronova Gulnora Yodgorovna, Khahharova Maftuna Baxtiyorovna
Department of Information Systems and Digital Technologies, Bukhara State University
Bukhara, Republic of Uzbekistan
E-mail: gulnoraburonova@gmail.com, gyburonova@buxdu.uz

Educational robotics is one of today's current trends. Robotics is especially important in the development of students' STEAM education. This article describes the issues of developing engineering and creativity skills by teaching virtual robotics.

INTRODUCTION

Many international robotics competitions are held in the world, in which it is very important to teach robotics from a young school age so that our children can successfully participate and take high places. Currently, you can find many ready-made kits for building and making robots on sale abroad, or you can buy the necessary components separately and assemble your own design. Usually, the cost of such kits is expensive and it is a bit difficult for students in remote areas to afford such kits. When we conducted an online survey on the matter, most young people expressed an interest in robotics and, unfortunately, many cited a lack of equipment as the reason they were unable to explore the field. But it is possible to teach robotics using virtual software platforms that replace such equipment.

I. MAIN PART

The purpose of the study is to determine the educational effectiveness of studying virtual robotics as a factor in the development of engineering and creative abilities of students. In order to conduct a pedagogical experiment, the authors organized control and experimental groups of children interested in robotics (15 people each) from 9 to 12 years old in the 2019/2020 school year. First, an online survey was organized and the opinions of the participants were determined. Based on the results of the survey, a training plan was determined for those interested in virtual robotics. Robotics education is the main type of activity that develops engineering thinking and technical creativity in children. When studying robotics, it is necessary to use different technical sets. But it is difficult to find such collections in some schools. The kits used to teach robotics include the following components: beginning robotics, design engineering, reasoning, coding, testing, and development. STEAM education is based on LEGO construction, and LEGO constructive academic studies focus on the development of verbal, creative and engineering skills. The teacher organizes the virtual robotics education and teaches students to design constructions and models using the three-dimensional constructive LEGO Digital Designer tools with the help of a computer. In this part, the development of general educational

skills in robotics is achieved. Students can develop their engineering and creative abilities by continuing the development of the next stage through the control unit of the Arduino microprocessor. In this process, schoolchildren can master STEAM subjects well and start independent small electronic projects. Students can acquire programming skills by working in a "learning by doing" system, and learn the basics of circuit technology using these software platforms. In order to solve this problem, today's modern educational direction "Robotics" is described in the research work through virtual simulation programs such as Lego Digital Designer, TinkerCAD, Scratch, Arduino, 3D TinkerCAD.

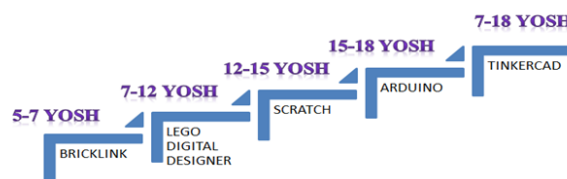


Figure 1 – Use of age appropriate programs

Through this research project, students can actually create the projects of their imagination using virtual software tools and demonstrate their capabilities. As a result, the child will be able to analyze the principles of operation of household appliances and begin to better understand robotics and related sciences. Implementation of projects in the virtual circle program is explained step by step in simple language. The student creates his own robot using virtual applications. In the process of creating a virtual project through Minecraft Education Edition, Bricklink, and Lego digital designer programs, the development of the following aspects was observed in students aged 5 to 7 years:

- development of cognitive thinking;
- development of small motor skills;
- speech development;
- development of correct perception of color;
- development of perseverance, patience.

Introduction to robotics (working with Lego Mindstorms sets based on the Lego Digital Designer simulation program) from 10 to 12 years old:

- development of programming skills for robotic devices;
- development of IT competence;

- development of thinking logic;
- formation of analytical thinking;
- development of engineering and construction skills;
- development of spatial imagination;
- forming a natural and scientific outlook;
- formation of knowledge, skills and qualifications about the environment of the subject;
- development of small motor skills;
- speech development.

It is important to prepare informational products and use them in order to organize creative activity of students based on interactivity in the educational process. In this process, artificial intelligence or imitation learning model can be used effectively. Knowledge modeling is carried out in different scientific areas and for different purposes. In the theory of expert systems, this method is used to solve intellectual tasks by means of a computer. In the learning environment, the teacher appears as both a physical and a virtual expert model. It is very important to acquire generalized abilities for the science of pedagogy. Because it ensures the assimilation of new knowledge. As a result, students acquire basic computer skills. Then every student will have the desire to create the necessary information base for themselves. In this process, group members begin to act together. Each student gets the opportunity to enrich his knowledge with the help of the knowledge acquired by his peers. Educational materials enriched with new knowledge will help them in this. To do this, the teacher is able to create a cooperative learning environment with a wider use of intellectual tasks. Based on mastering robotics knowledge, a new tool of activity is created. In robotics circles, students begin to perceive social reality together. The student is provided with cognitive and creative activities. The educational process using ICT tools is effective in many ways and serves to open the abilities of a person in various directions. In this process, the student also demonstrates the ability to learn independently. The best governance is self-governance. What is important is not the transfer of knowledge, but the acquisition of methods of supplementing knowledge. In other words, mastering the ways of independent learning is of particular importance. Since education is developmental in nature, in this process there is an opportunity to rapidly move to a new state. The learner's knowledge and behavior will take on a new look. In a word, the content of knowledge acquired

by students is updated. Education begins to gain a new power for students.

II. CONCLUSION

Directions, methods and techniques for using robotics tools for students in high school have not yet been fully developed. This is a new direction of polytechnic education, which combines the knowledge and experience of teaching a number of school subjects. In its development, as a new object of the modern technological environment, it is necessary to take into account the specific characteristics of robotic devices, the development opportunities of each discipline, the characteristics of different levels and educational content. Inadequacy of instructional and methodological manuals intended for the use of robotics by students of different ages in the educational process. In the composition of existing educational literature, issues related to computer science courses are covered. More attention is being paid to training students in robotics club classes. Creation of working groups for the creation of textbooks and training manuals for students on robotics based on the educational and regulatory documents of general education schools of our republic and launching their activities. Dissertation research related to the problem of organizing the educational process using robotics elements in general secondary schools is still at an early stage. The publications of the authors of these studies mainly include the specific experience of using robotics tools in the secondary school educational process. Literature on the general pedagogical and methodological problems of using robotics tools in extracurricular and extracurricular activities with schoolchildren can be found.

III. REFERENCES

1. Буранова Гульнора Ёдгоровна, Атаева Гульсина Исроиловна Преимущества использования метода учебного проекта в процессе обучения // Проблемы науки. 2020. №8 (56). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preimuschestva-ispolzovaniya-metoda-uchebnogo-proekta-v-protssesse-obucheniya>
2. Буранова, Г. Ё., & Носирова, Ш. Э. (2020). Сущность применения метода кейс-технологий в организации учебного процесса. *Academy*, (9 (60)), 29-31.
3. Атамуратов, Ж. Ж. (2020). Роль преподавателя в проектировании этапов построения дистанционного обучения. *Academy*, (10 (61)), 35-38.
4. Файзиева, Д. Х., & Асадова, О. А. (2021). Методика преподавания информатики в среднеобразовательной школе. *Вестник науки и образования*, (1-2 (104)), 47-49.

FACIAL EXPRESSION RECOGNITION METHOD ON STATIC AND DYNAMIC IMAGE

Cheng Chengliang, German Yu.O.

Department of Information Technologies in Automated Systems,
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus

E-mail: cclstrawberry@gmail.com, jgerman@bsuir.by

This article is dedicated to analyse various facial expression recognition method based on different type of image, which aim at extracting feature on the image. Considering the method to optimize existing method.

INTRODUCTION

Expression is a word that is mentioned a lot in our daily life. In interpersonal communication, people can enhance their communication effect by controlling their facial expressions. Facial expressions are an important way to spread human emotional information and coordinate interpersonal relationships. According to research, in human's daily communication, the information transmitted through language only accounts for 7% of the total information, while the information transmitted through facial expressions reaches 55% of the total information.

Expression is an indicator of emotion projected by humans and other animals from their physical appearance, mostly referring to the state formed by facial muscles and five senses, such as smiling, angry eyes, etc. It also includes the body language expressed by the body as a whole. Some expressions can be interpreted accurately, even among members of different species, with anger and extreme satisfaction being prime examples. However, some expressions are difficult to interpret, even among familiar individuals, with disgust and fear being the main examples. In general, the various organs of the face are an organic whole, expressing the same emotion in a coordinated manner. Facial expressions are part of the human physical language, a physiological as well as psychological response, and are usually used to convey emotions.

I. EXPRESSION RECOGNITION SYSTEM

The face expression recognition system mainly consists of four parts: face image acquisition, face detection, feature extraction, and feature classification.

The face expression recognition system has developed into an independent research direction due to the fact that the open source expression database is now relatively abundant, the image acquisition is not too difficult, and the face detection algorithm is relatively mature, so the research on face expression recognition is mainly reflected in the last two steps of the system: feature extraction and feature classification.

II. FEATURE EXTRACTION METHOD

Emotion feature extraction mainly uses mathematical methods and relies on computer technology to organize and process data from digital images of human face expressions, extract expression features and remove non-expression noise. In some cases, the feature extraction algorithm extracts the main features of the image and objectively reduces the dimensionality of the image.

The generation of facial expressions is a complex process, and if psychological and environmental factors are not taken into account, what is presented to the observer is simply muscle movement and the resulting changes in facial shape and texture. The static image presents the expression state of a single image when the expression occurs, and the dynamic image presents the movement process of the expression between multiple images. Therefore, the expression feature extraction algorithms are broadly divided into static image based feature extraction methods and dynamic image based feature extraction methods according to the state of expression occurrence and the processing object.

III. FEATURE EXTRACTION METHODS BASED ON STATIC IMAGES

1. Integral method. Face expressions rely on muscle movements to reflect. The static image of face expression visually shows the changes of facial shape and texture produced by the movement of face muscles when the expression occurs. From a holistic perspective, such changes cause significant deformation of facial organs, which can have an impact on the global information of the face image, and therefore face expression recognition algorithms that consider expression features from a holistic perspective have emerged.

The classical algorithms in the holistic approach include principal component analysis (PCA), independent component analysis (ICA) and linear discriminant analysis (LDA). The FastICA algorithm is used to extract expression features, and the method not only inherits the features of ICA algorithm that can extract hidden information between pixels, but also can accomplish the separation of expression features quickly through iteration. Support vector discriminant analysis

(SVDA) algorithm, which is based on Fisher linear discriminant analysis and support vector machine, is able to make the expression data with maximum inter-class separability in the case of small sample data, and does not require the decision function needed to construct SVM algorithm. The recognition rate of this algorithm is experimentally demonstrated to be higher than that of PCA and LDA.

2. Partial method. Face expressions on static images not only have overall variations, but also local variations exist. The information contained in the local deformation of facial muscles such as texture and wrinkles can help determine the attributes of expressions accurately. The classical methods of local method are Gabor wavelet method and LBP operator method.

IV. DYNAMIC IMAGE BASED FEATURE EXTRACTION METHOD

The difference between dynamic images and static images is that dynamic images reflect the process of facial expression occurrence. Therefore, the expression features of dynamic images are mainly expressed in the continuous deformation of the face and the muscle movement of different regions of the face. The current feature extraction methods based on dynamic images are mainly divided into optical flow method, model method and geometric method.

1. Optical flow method. Optical flow method is a method to reflect the grayscale changes of corresponding objects between different frames in dynamic images. Early face expression recognition algorithms mostly used optical flow method to extract expression features of dynamic images, mainly because the optical flow method has the advantages of highlighting face deformation and reflecting face movement trend. Therefore, this algorithm remains an important method among traditional methods to study dynamic image expression recognition. Firstly, the optical flow field and gradient field between consecutive frames are used to represent the spatial and temporal changes of the image respectively to achieve the tracking of expression regions in each frame of face image; then, the movement of face muscles is represented by the change of motion direction of feature regions, which then corresponds to different expressions.

2. Model method. The model method in face expression recognition refers to the statistical method to parametrically describe the expression information of dynamic images. Commonly used algorithms mainly include Active Shape Model Method (ASM) and Active Appearance Model

Method (AAM), both of which can be divided into two parts: shape model and subjective model. As far as the appearance model is concerned, ASM reflects the local texture information of the image, while AAM reflects the global texture information of the image.

3. Geometric method. In the expression feature extraction method, the researchers consider that the generation and presentation of expressions are largely reflected by the changes of facial organs. The main organs of the human face and their folds will be the regions where the expression features are concentrated. Therefore, marking feature points in the facial organ regions and calculating the distance between feature points and the curvature of the curve where the feature points are located becomes a method to extract facial expressions using geometric forms. The faces with different expressions are represented on a grid using a deformation grid, and the change of grid node coordinates between the first frame and the largest frame of that sequence of expressions is used as a geometric feature to realize the recognition of expressions.

V. CONCLUSION

The development and application of facial expression recognition technology can better realize the communication between intelligent technology and people, separate the specific expression state from the given static image or dynamic video sequence through machine recognition, so as to determine the psychological emotion of the recognized object and realize the computer's understanding and recognition of human facial expression, which can fundamentally change the relationship between human and computer, so that the computer can better serve human and thus achieve better human-computer interaction. Moreover, expression recognition technology is an effective way for people to explore and understand intelligence.

VI. REFERENCES

1. He Lianghua Research on some key technologies in face expression recognition / Lianghua He // -Southeast University, 2005.
2. Zhou Shuren Expression recognition based on ICA and HMM / Shuren Zhou, Ximing Liang, Can Zhu, et al. // -Chinese Journal of Graphics, 2008, 13(12):2321-2328.
3. Zhou Shuren Analysis and research on face expression recognition algorithm / Shuren Zhou // -Zhongnan University, 2009.
4. Ying Zifu Support vector discriminant analysis and its application in face expression recognition / Zifu Ying, Jinghai Tang, Jingwen Li, et al. // -Journal of Electronics, 2008, 36(4):725-730.

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ХАРАКТЕРИСТИК АУДИОСИГНАЛА

Езовит А. В., Гуринович А. Б.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: ezovit99@yandex.ru, gurinovich@bsuir.by

В настоящее время важной задачей в области речевой обработки является выделение информационных признаков сигнала. Достижения в данной сфере могут применяться для идентификации личности, её описания, сбора информации о физическом состоянии и роде деятельности. В данной статье предложен метод для выделения смысловой информации из результатов обработки аудиосигнала с применением алгоритмов машинного обучения.

ВВЕДЕНИЕ

Важной задачей в области речевой обработки является выделение информационных признаков сигнала. Информационными признаками являются характеристики голоса и речи, которые уникальны для каждого человека. Их выделение из сигнала позволит составить «портрет» речи человека.

Другой задачей в области обработки речевой информации является сбор характеристик аудиосигнала. Характеристики аудиосигнала являются результатами анализа аудиоданных. К ним можно отнести мел-кепстаральные коэффициенты (MFCC), спектральный центроид (spectral centroid), спектральный спад (spectral rolloff) и другие. Данные характеристики применяются в областях классификации жанра музыки, отделения естественного голоса от синтезированного, идентификации человека и др.

В данной статье рассматривается подход к выделению информационных признаков из характеристик аудиосигнала. Концепция данного метода, заключается в идее того, что каждый информационный признак может быть соотнесен с одним или несколькими характеристиками аудиосигнала.

Применение данного метода поможет определить в каких характеристиках заключена та или иная информация, что в дальнейшем позволит сократить количество входных данных для алгоритмов машинного и глубокого обучения, таким образом экономя вычислительный ресурс и время, снижая величину тренировочного набора данных и улучшая точность.

I. ХАРАКТЕРИСТИКИ АУДИОСИГНАЛА

Характеристики аудиосигнала получаются в результате обработки записи звука во временной и частотной областях и в общем случае могут описывать любой сигнал. Большая часть характеристик, позволяет проанализировать сигнал по распределению энергий на спектрограмме.

К основным характеристикам можно отнести:

- Спектральный центроид (показывает на какой частоте сосредоточен "центр масс звука")
- Мел-кепстаральные коэффициенты (показывают энергию каждого треугольного фильтра мел-шкалы)
- Спектральный контраст (позволяет оценить разность энергии для поддиапазонов в кадре спектрограммы)
- Спектральный спад (мера формы сигнала, для какой частоты суммарная энергия более низких частот достигает заданного уровня)

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для выделения информационных признаков в речевом сигнале могут применяться методы, основанные на машинном и глубоком обучении.

Алгоритмы машинного обучения можно разделить на две категории: обучение с учителем и без. В алгоритмах обучения с учителем предьявляется набор данных, содержащий признаки, в котором каждый пример снабжен меткой, или целевым классом. В задаче обработки речи в качестве метки может выступать пол, возраст, эмоциональное состояние и т.д. Примером данного алгоритма служит метод опорных векторов, выполняющий задачу классификации. Алгоритму обучения без учителя в качестве опыта предьявляется набор данных, содержащий много признаков, а алгоритм должен выявить полезные структурные свойства этого набора. Некоторые алгоритмы обучения без учителя решают другие задачи, например алгоритм кластеризации, который должен выделить в наборе данных кластеры похожих примеров. Примерами данных алгоритмов являются метод главных компонент и кластеризация методом k средних.

Недостатком методов, основанных на машинном и глубоком обучении, является то, что возможных конфигураций характеристик гораздо больше, чем обучающих примеров, что приводит к тому, что для обучения требуется огромное количество примеров, времени и вычислительных мощностей.

В данной статье предлагается метод последовательного применения алгоритмов машинного обучения с учителем и без (метод главных компонент и метод кластеризации) для определения какие характеристики связаны с какими признаками и их выделения, что позволит в дальнейшем упростить процесс выделения информативных признаков речевого сигнала.

III. АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ИЗ ХАРАКТЕРИСТИК

Алгоритм сводится к трем этапам последовательного применения алгоритмов машинного обучения. Входными данными для алгоритма служит опыт E , представленный в виде массива, состоящего из векторов характеристик и меток для определенного количества аудиоданных. Поскольку часть характеристик представлена в виде одномерных или двумерных массивов данных, необходимо их обработать: например, найти среднее значение и стандартное отклонение, после этого провести нормализацию.

На первом этапе алгоритма формируется задача T , для обучения с учителем. Например: определить пол, возраст или эмоциональное состояние говорящего. После этого формируется опыт E – массив входных значений, включающий в себя все характеристики, предположительно способные влиять на меру качества R . Затем для решения этой задачи, исходя из целевого класса выбирается метод машинного обучения. Например, метод опорных векторов для задачи бинарной классификации (выбор пола) или линейная регрессия для задачи определения пола. Применяя метод, проводится оценка качества R , при удовлетворительном качестве, этап повторяется еще раз, но количество входных характеристик уменьшается с целью определить влияние отброшенной характеристики на предсказание, в случае неудовлетворительного R после применения алгоритма, стоит попробовать другой метод обучения. Выходными данными для первого этапа должна стать матрица A , состоящая из характеристик размерности меньшей входной, элементы которой оказывают наибольшее влияние на точность предсказания.

На втором этапе к матрице A применяется метод главных компонент (РСА). Задачей является сжатие данных в измерение меньшей раз-

мерности, чем входное. В ходе работы РСА оценивает дисперсию каждой величины и отбрасывает характеристики с наименьшим вкладом в формирование матрицы A , формируя новый вектор или гиперплоскость, на которую проецируются элементы исходной матрицы. Результатом работы является матрица C , размерности меньшей A .

На третьей этапе к полученному представлению, применяется метод кластеризации. Применение метода кластеризации позволяет найти точку в пространстве в окрестностях, которой будут сосредоточены объекты с идентичными свойствами. В зависимости от количества выбранных кластеров в результате можно получить распределение характеристик на диапазоны, несущие информацию об исследуемом признаке. Например: известно, что основной тон в зависимости от частоты (80 –210 Гц у мужчины, 120 –320 Гц у женщины) позволяет определить гендер говорящего. Таким образом можно построить два кластера: мужчины с центром в 145 Гц и женщины с центром в 220 Гц, для избегания пересечения стоит рассматривать основной тон совместно с другими характеристиками.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный алгоритм позволит определить какие характеристики аудиосигнала описывают определенный признак. Многократное применение поможет найти оптимальную входную матрицу опыта для решения конкретной задачи. Применение достигнутых результатов позволит сократить вычислительные мощности и величину набора данных для обучения алгоритмов машинного и глубокого обучения.

Так же подход, предложенный в статье, может быть применен в других областях в целях выделения признаков, оказывающих наибольшее влияние на точность предсказания.

V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А. А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.: цв. ил.
2. habr [Электронный ресурс]. – Москва, 2022 – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/668518/> – Дата доступа: 20.10.2022.
3. habr [Электронный ресурс]. – Москва, 2022 – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/670676/> – Дата доступа: 20.10.2022.

DISTORTED QR-CODE CORRECTION ALGORITHM

Feiyu Xiao, German O.V.
 Department of Information Technologies in Automated Systems,
 Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
 Minsk, Republic of Belarus
 E-mail: feiyuxiao606@gmail.com, ovgerman@tut.by

This article mainly study about the problems of image tilt and geometric distortion that may be encountered in the identification process of QR-code images, and the deformed code image is corrected by bilinear transformation, and then the QR-code symbol characteristics are used to rotate and orient the image.

INTRODUCTION

QR-code recognition mainly uses image recognition technology. First, an image containing a QR-code is collected through an image acquisition device, and then the QR-code is recognized by image processing and data processing, and finally the text information originally contained in the QR-code is extracted. Since obtaining bar code image data, there may be several deformations in the obtained image due to various reasons such as shooting angle and image bending, the acquired bar code image is not a square, but any quadrilateral. Due to the existence of this kind of distortion, the positioning and orientation of QR-code symbols and sampling and recognition work bring a lot of difficulties, so it is necessary to use a correction algorithm to correct the distorted image. In this paper, a bar code image geometric distortion correction algorithm based on bilinear transformation and interpolation methods is proposed. Binarization of the entire image, the distorted coordinates are corrected, and the corrected coordinates are obtained. The method of bilinear interpolation is used to deal with blank pixels that may appear after bilinear transformation. After solving the geometric distortion of the QR-code image, the biggest problem that affects the recognition result becomes how to correctly find the range and direction of the QR-code symbol. After binarization of the entire image, it is scanned vertically and horizontally. According to the reference decoding algorithm proposed by the QR-code standard, the position of its rows or columns can be recorded. When recording the first and last row positions and column positions, a total of 4 straight lines can be obtained, surrounded by a square. Connect the diagonal of the square to get the center point of the detection pattern. The tilt angle of the image is determined based on the triangle formed in the center of the three detection graphics of the QR-code.

I. CORRECTION OF DISTORTION

Bar code image is based on bilinear transformation and interpolation method geometric distortion correction algorithm. Vertex change

shown in Figure 1, P_1, P_2, P_3, P_4 are the four vertices of the undistorted bar code image, and P'_1, P'_2, P'_3, P'_4 are the four vertices of the geometrically deformed barcode image. Use $f(x, y)$ to represent the corrected image without any distortion, and $f(x', y')$ to represent the uncorrected image. There is such a relationship between $f(x, y)$ and $f(x', y')$:

$$f(x, y) = f(x', y'). \quad (1)$$

the coordinate value of the point (x, y) is transformed into (x', y') due to geometric distortion. The relationship between x, y, x', y' can be described as:

$$x = ax' + by' + cx'y' + d; \quad (2)$$

$$y = mx' + ny' + px'y' + q. \quad (3)$$

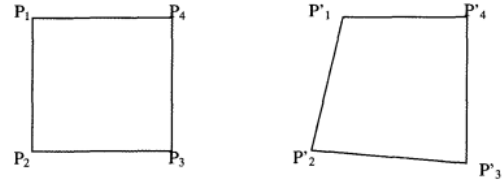


Рис. 1 – Figure 1 Vertex change

Let the coordinates of P_1, P_2, P_3, P_4 be $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$. And P'_1, P'_2, P'_3, P'_4 coordinates are $(x'_1, y'_1), (x'_2, y'_2), (x'_3, y'_3), (x'_4, y'_4)$.

Then there are two linear mapping equations:

$$\begin{aligned} x_1 &= ax'_1 + by'_1 + cx'_1y'_1 + d; \\ x_2 &= ax'_2 + by'_2 + cx'_2y'_2 + d; \\ x_3 &= ax'_3 + by'_3 + cx'_3y'_3 + d; \\ x_4 &= ax'_4 + by'_4 + cx'_4y'_4 + d. \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} y_1 &= mx'_1 + ny'_1 + px'_1y'_1 + q; \\ y_2 &= mx'_2 + ny'_2 + px'_2y'_2 + q; \\ y_3 &= mx'_3 + ny'_3 + px'_3y'_3 + q; \\ y_4 &= mx'_4 + ny'_4 + px'_4y'_4 + q. \end{aligned} \quad (5)$$

From the system of linear equations (4) and (5), a, b, c, d, m, n, p, q can be obtained, that is, the mapping coefficient of the bilinear mapping is

determined. For the gray value $f(x,y)$ of any point (x,y) in the corrected image, the mapping coefficient can be obtained from the corresponding distortion point.[1]

II. POSITIONING AND ORIENTATION OF QR-CODE

QR-code is a kind of matrix QR-code, which is composed of dark and light-colored square modules arranged in accordance with certain rules, including coding areas and functional areas. Each detection pattern of the QR-code is staggered by the depth module in accordance with the relationship of 1:1:3:1:1.

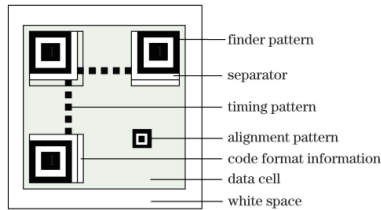


Рис. 2 – Figure 2 Structure of QR-code

Structure of QR-code is shown in Figure 3, and has this ratio in the horizontal, vertical and diagonal directions. Therefore, by searching for detection graphics, the QR-code area can be quickly located.[2]

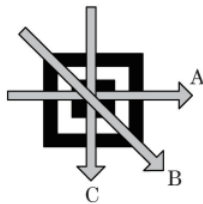


Рис. 3 – Figure 3 Detection pattern

Noting the proportional characteristics of the detection pattern, after binarization of the entire image, it is scanned vertically and horizontally. According to the reference decoding algorithm proposed by the QRcode[S] standard, the method of determining the image-seeking graphics is carried out in such a way: when the depth and depth pixels appear in a ratio close to 1:1:3:1:1, the position of its rows or columns can be recorded, and the adjacent positions can be searched until all adjacent rows or columns are found. When recording the first and last row positions and column positions, a total of 4 straight lines can be obtained, surrounded by a square, as shown in

the figure. Connect the diagonal of the square to get the center point of the detection pattern.[3]

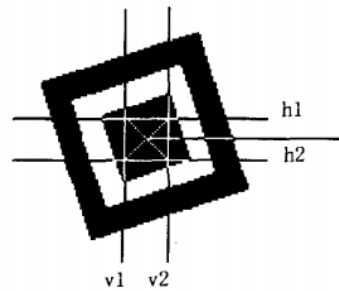


Рис. 4 – Figure 4 Detection center point

Following the above steps to find the three positions in the QR bar code symbol to detect the center of the graphic. After determining the three position detection graphics, determine the direction of the bar code. At this time, the center points of the three detection graphics can be directly connected to form a triangle. According to the structural characteristics of the QR bar code symbol, it can be seen that the vertex of the corner with the largest angle among the three corners corresponds to the center point of the detection pattern in the upper left corner of the QR bar code symbol. So as long as the position of the center point is used as a reference, rotate at a certain angle (An integer multiple of 90°) can realize the orientation of the bar code symbol.

III. CONCLUSION

This article discusses the correction and positioning methods of QR code images. First, using bilinear transformation and interpolation operations, the acquired image of the bar code symbol that has undergone geometric deformation is geometrically corrected; then it is analyzed according to the image characteristics of the QR code symbol, and based on the analysis results, a simple and fast QR code symbol positioning and orientation algorithm is proposed.

IV. REFERENCES

1. Liu Ningzhong, Yang Jingyu Two-dimensional barcode recognition based on Fourier transform // -Chinese Journal of Graphics and Graphics, 2003
2. Zhang Min, Zhang Jianli Recognition algorithm of QR code based on symbol characteristic // Computer engineering, 2011
3. Liu Huijuan A fast response code image segmentation and correction method // -Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2006

REALIZING THE CONSCIOUSNESS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

German J.O.¹, German O.V.²

¹Electronic computing machines department, The Belarusian State university of informatics and radio-electronics

²Information technologies in automatized systems department, The Belarusian State university of informatics and radio-electronics

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: juliagerman@gmail.com

A new two-unit model of a «conscious» neuron is presented to be realized in AI-based systems. The main difference from the known paradigms is the admission of the phenomenon of self-perception by the neuron of its own state, displayed by its electromagnetic cloud. This phenomenon creates in given representation the nature of consciousness. Some consequences of the hypothesis are considered.

INTRODUCTION

Human consciousness is not accessible from outside. That is why any stated consciousness model cannot be accepted as completely proven. There are different conceptions regarding phenomenon of consciousness. From these conceptions, one of deserving interest is that, considering consciousness not as a physical process with definite characteristics, but rather as a state (property) of neuron(s). This conception is known as an equality of mental (psychical) and physical processes in the brain [1]. In some models consciousness is associated with electromagnetic field generated by neurons, for instance, as accepted in [2,3]. In [4] consciousness is associated with virtual reality, however, the nature of such a reality remains unclear. Probably, the most interesting is conception by F. Crick and K. Koch [5]. They suggested that there is a special area in brain called claustrum which is represented by small (maybe, only one) big neuron(s) connected by a tremendous amount of synapses to other neurons. The claustrum plays role of a center to see the information code transported through the synapses. This conception is taken here as basic. We develop it to get some another model with practical orientation to artificial intelligence.

I. BASIC SCHEME

The only task, solved by consciousness, consists in seeing the information code directed from the other neurons. It is no matter what this information code represents – pain, tactile feeling, speech or other. Claustrum «sees» this code, enabling human to represent what is going on. Literally, claustrum sees electromagnetic cloud around it and containing information data. Claustrum also sees its own state what is most important as this assumption leads to understanding of the nature of «Selfness». The state of claustrum is represented by its own electromagnetic field which is superposed with external electromagnetic cloud with information

code delivered through synapses from outside. The nature of this phenomenon may be explained in the following way: «to see electromagnetic field» means to «change internal state of claustrum in order to generate the same electromagnetic field from inside». This is in accordance with the conception of equality of mental (psychical) and physical processes in the brain [1]. The state of the claustrum is the same as external electro-magnetic field with information data. To be more exact, we admit that the resulting electromagnetic field ER is a superposition:

$$ER = E1 + E2 \quad (1)$$

where E1 is external field with information data and E2 stands for some constant internally generated electromagnetic field of claustrum. By this, we admit that claustrum can see its own state. Once again, the claustrum state is equivalent of the electromagnetic-field around it. This field can be changed by means of bio-currents directed from outside to claustrum and carrying information data, and from inside (from claustrum body itself).

II. MATHEMATICAL REPRESENTATION OF THE ELECTROMAGNETIC SUPERPOSITION

Our aim is to show the possibility to model consciousness in computer. It is necessary to bear in mind that electromagnetic field around claustrum contains different signals. Some signal delivers pain sensation, the other signal carries the hearing sensation etc. To mathematically describe this sum of signals, one can use Fourier transformation as it enables to simply realize representation of the sum (superposition) of signals. The only task, solved by consciousness, consists in seeing the information code directed from other neurons. It is no matter what this information stands for. Consciousness simply «sees», not analyses the information data. To «see» information means (as we accepted) to generate electromagnetic field in

the form (1). The neurons, providing information to claustrum, work in different way, as their task is «to analyze» not «to visualize» data. By this feature all living creatures differ from one another. To model consciousness with electronic scheme, one needs: (1) to realize a computer «answer» to accepted information code (input electromagnetic field containing information data). The answer is the same field, produced (as could be supposed) on resonance basis. Essentially, that consciousness modeling unit should re-build its internal process accordingly to input signal. (2) To keep the generated field around the consciousness modeling unit till new input data arrives. From (1) one can conclude that essential part of the consciousness modeling unit process is that one, representing electromagnetic oscillations, reproducing the information signals in the input field. The next serious problem is to model attention (that is, the ability to concentrate on a definite part of the image). This problem concerns formal way of estimating the weights of information contents. In living creatures, the priorities are connected to the life values of external factors. In AI-based robotic objects the situation is different and depends on the goals of the objects themselves. What are these goals? For instance, these may be providing comfortable conditions for the human personal in the hospitals or observing passengers in airport halls to discover suspicious men. So, AI-based consciousness is strongly oriented at the goals of its carriers. From mathematical viewpoint, mechanism of attention may be realized as a multi-criteria decision maker (we leave discussion of that point).

III. THE MAIN PROBLEMS OF AI-CONSCIOUSNESS

As was said above, the only task, solved by consciousness, consists in seeing the information code directed from other neurons. It is no matter what this information is. There are two big problems arising when implementing AI-consciousness. First, consciousness is realized by biological entities, not electronic ones. By this we assert, that seeing of its own state as it is realized in neurons may be impossible in electronic bodies. Yes, one can generate electromagnetic field representing the state of the electronic entity but it does not mean the entity sees itself. Second, the information displayed in consciousness, is perceived as ordered in time and space. This again maybe unachievable in electronic device, where an

information image is represented as a data mess (to tell figuratively). This two problems seem to be crucial from the current positions. However, some acceptable solutions could be found.

IV. CONCLUSION

The evolutionary doctrine leads to the conclusion that the "conscious" neuron, apparently, "started" with the recognition (perception) of its own electromagnetic radiation. An analogy is quite appropriate, according to which the own electromagnetic field of a neuron is its "soul", the perceived electromagnetic background, evidence of "cash". This own electromagnetic radiation, even if in the form of "information noise is the primal form of self-perception. In the course of evolution, other ("non-conscious") neurons began to produce more complex information codes, for example, transmitting pain. In principle, our point of view conveys the identity of the "viewer" and the "screen with the image since the opposite assumption leads to a reduction to infinity. The essence of the position is that the screen is the state of the viewer, it is the property of the "conscious" neuron - the property of "seeing" the electromagnetic field. This position is not at all a statement of the mind and brain identity. Its physical nature is unclear. Despite the impossibility to reproduce the feeling of Selfness in electronic device, the possibility to use AI-based consciousness is very attractive and exciting.

The most reasonable application of AI-based consciousness is its usage in interaction with real man. That is, man stands in position to understand what is going on in electronic brain. This is especially important if the external environment is dangerous for human presence due to some obstacles or other reasons. The other idea consists in interaction with AI-based intelligence, that is to change its electromagnetic field in the required way. This opportunity enables man to suggest his/her own ideas to electronic brains.

V. REFERENCES

1. Polger, T.W. Identity theories / T. W. Polger// Int. J. Philosophy compass, No. 4, 2009, p.p.1-13.
2. Dean, S. Brain and consciousness. How brain encodes thoughts / S. Dean, Career Press. 2018 440p.
3. McFadden, J. The conscious electromagnetic field. The hard problem made easy? / J. McFadden. Journal of Consciousness Studies, 9, No. 8, 2002, pp. 45-60.
4. Dubrowsky, D. I. The problem of consciousness and a brain. Theoretical solution. / D. I. Dubrowsky. Moscow. Canon, 2015, pp. 208p.
5. 7. Crick, F.. What is the function of the claustrum? / F. Crick, C. Koch. Philosophical Transactions. Royal Society. 2005. Vol. 360. -pp. 1271-1279.

ФОРМИРОВАНИЕ КЛАСТЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ЗОНЫ РИСКА БАНКРОТСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ

Герман Ю.О.¹, Герман О.В.², Кузнецов М.В.²

¹Факультет компьютерных сетей и систем, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

²Факультет информационных технологий и управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: ovgerman@tut.by

Рассматривается задача формирования кластеров на множестве состояний зоны риска банкротства («серой» области). Предлагается новый оригинальный метод построения кластеров на основе метода решения задачи нечеткого математического программирования. Представленный подход позволяет устранить некоторые недостатки известных методов - Fuzzy KMeans и Possibility CMeans.

ВВЕДЕНИЕ

Производственная система (финансовая организация) рассматривается как сложная система, состояния которой описываются многомерными векторами. Значения векторов меняются во времени в зависимости от многих факторов по некоторой траектории. Значения векторов формируют определенные кластеры, из которых нас интересуют те, которые попадают в «серую» область. Эту область состояний системы нельзя однозначно идентифицировать как устойчиво позитивную (штатную) или зону банкротства. Мы выделили такие кластеры в серой области: PS (кластер отклоняющихся от нормы состояний, которые идентифицируются как позитивные, более близкие к N) и NG (кластер отклоняющихся от нормы состояний, которые идентифицируются как негативные, более близкие к F). Соответственно различными должны быть управляющие воздействия в этих кластерах. Предлагается новый способ формирования кластерной структуры серой зоны, базирующийся на идеях нечеткого математического программирования.

I. КРАТКИЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМАТИКИ

Следует определиться с формальным критерием «серой» области. Сначала сформулируем идею концептуально. Пусть дано множество точек из двух классов. Рассмотрим произвольное разбиение этого множества точек на непересекающиеся подмножества A (точек первого класса), B (точек второго класса), C (нет требований по классам), так что их объединение дает исходное множество точек. Тогда множество C будет серой областью, если выполнены следующие условия:

1. A и B разделимы линейной дискриминаторной функцией;
2. Множества $\{x\} \cup A$ и B не являются линейно разделимыми, равно как и A и $\{y\} \cup B$ не являются линейно разделимыми для любых $x \in A, y \in B, x, y \in C$.

Допущения 1,2 далее используем как исходные для излагаемого материала.

Как было отмечено выше, состояния (объекты) в «серой» области принадлежат разным кластерам (классам). Известны два базовых подхода к построению нечетких кластеров [1]: алгоритм Fuzzy C-Means (нечетких C-средних) - FCM и Possibilistic C-Means (возможных C-средних) - PCM.

Алгоритм FCM выполняется как итерационный процесс. На каждой итерации объекты перераспределяются по кластерам и для них выполняется пересчет нечетких мер принадлежности и значений центроидов. Итерации повторяются, пока центроиды не стабилизируются. Недостатки FCM усматриваются в следующем [2]:

1. алгоритм плохо оценивает крайние точки или шумы, давая им завышенные значения степеней принадлежности к кластерам;
2. степени принадлежности к кластеру зависят от координат центроидов других кластеров, что в ряде случаев искажает логику определения самих нечетких мер.

Недостатки PCM усматриваются в следующем [2]:

1. высокая чувствительность к начальной инициализации (начальному разбиению на кластеры);
2. кластеры могут «накладываться» друг на друга. Этим недостатком лишен предлагаемый метод.

II. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ МЕТОДА

Нас будет интересовать подход [3] (Zimmermann), который мы развиваем в данной работе. Этот подход изначально ориентирован на решение задач нечеткого математического программирования и используется в материалах данной работы для отыскания нечетких кластеров. Под кластерной структурой будем понимать совокупность кластеров и их состав. Для ясности в качестве исходных данных используется некоторая заданная a priori таблица, строки которой представляют состояния производственной системы в моменты измерений (например, указа-

ны значения критериев пятифакторной модели Альтмана из серой области и результирующая оценка риска банкротства z). Предполагается, что кластерная структура не известна и должна быть найдена. Базируясь на работе [4], составим следующую систему для определения двух кластеров в серой области. Целевая функция $G = \sum_i \lambda_i^2 \rightarrow \min$.

Ограничения однотипны и имеют вид линейных алгебраических неравенств:

$$\sum_i a_i x_{i,k} = d - \lambda_k,$$

d – вещественное число, например $d = 0$, x_k – вектор состояния системы на шаге k .

Решение системы позволяет найти два кластера. Векторы состояний x_k попадают в кластера подобно тому, с каким значением λ_k эти векторы (состояния) ассоциированы в решении: $\lambda_k \geq d$ – первый кластер, $\lambda_k < d$ – второй кластер.

Обоснование использованной модели состоит в следующем. Принято, что между двумя кластерами можно провести гиперплоскость, если

$$\sum_i a_i x_{i,k} \geq (<) d,$$

с неравенством типа \geq для одного кластера и жестким неравенством $<$ для другого (d – вещественное число, например 0). В исходной системе ограничений гиперплоскость, разделяющая два кластера, строится таким образом, чтобы векторы (точки в многомерном пространстве) каждого кластера группировались как можно плотнее друг к другу в силу целевого функционала G . Функционал такого вида «подтягивает» удаленные точки кластера к «основной» массе, которая «группируется» рядом с разделяющей гиперплоскостью. Если точки лежат на гиперплоскости, то вопрос об отнесении их к какому-либо кластеру требует дополнительного исследования (либо решается произвольным образом – случайно). Из этого наблюдения можно считать, что чем дальше точка лежит от разделяющей гиперплоскости, тем меньше степень ее принадлежности к кластеру. Базируясь на этом замечании, можно предложить метод вычисления нечетких мер принадлежности. Константа d выбрана произвольно (как можно доказать, выбор константы d не влияет на результат определения кластерной структуры). Проблема связана с тем, что описанная концепция ведет к большому числу неравенств с малыми отклоняющимися от 0 значениями λ_i . Таким образом, схема должна быть адаптирована так, чтобы получить как можно меньшее число неравенств, для которых значение λ_i не нулевое.

Таким образом, нами установлен способ получения кластеров в «серой» области на базе общего подхода к решению задач нечеткого математического программирования [1]. Ясно, что произвольное множество точек можно разделить на два кластера (класса) не единственным способом. Предложенный способ, минимизирует суммарное расстояние между точками каждого кластера за счет использования целевого функционала G . Этот функционал «подтягивает» точки кластера к гиперповерхности, отделяющей его от другого кластера и позволяет с этих соображений обосновать предложенный способ вычисления нечеткой меры принадлежности к кластеру. Достоинством предложенного подхода является то, что он не является итерационным и позволяет сразу получать необходимые оценки. Кроме того, он не связан с недостатками, указанными для методов Fuzzy KMeans и Possibilistic C-Means. Данный способ можно использовать для получения не только двух, но и трех и более кластеров, однако это требует специальной техники. Например, для разбиения на три кластера описанную технику модернизируем так: разбиваем исходное множество на два кластера: A и B . Затем кластер B разбиваем на два кластера B_1 и B_2 . Разбиваем объединения $A \cup B_1$ и $A \cup B_2$ каждое на два множества, то есть имеем подмножества X, Y, U, W . Находим два из этих подмножеств, объединение Z которых в наибольшей степени представлено в A и полагаем, что первый кластер определен и им является Z . Удаляем его из исходного множества и определяем в оставшемся множестве векторов два других кластера.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grover, N. A study of various fuzzy clustering algorithms. / N. Grover// International Journal of Engineering Volume No.3, Issue No.3, pp : 177–181.
2. Binsy, T. Comparative Analysis Of Fuzzy Clustering Algorithms In Data Mining / T. Binsy, Madhu Nashipudimath. // International Journal of Advanced Engineering Research. Volume No.3, Issue No.3, pp.177–181.
3. Fuller, R. Fuzzy reasoning for solving fuzzy mathematical programming problems /R. Fuller, H-J. Zimmerman. // Fuzzy sets and systems, 60, 1993, p.p.121-133.
4. Герман, О. В. Подход к выбору управления в системе кластеров / О. В. Герман, Ю. О. Герман, М. В. Кузнецов // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. - Минск: БГТУ, 2020. - № 1 (230). - С. 63-68

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОСТУПНОСТИ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ

Голубева И.А.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

E-mail: holubeva.irina@gmail.by

Рассматривается анализ временных рядов для предсказания доступности зарядных станций для электромобилей по настоящим и прошлым значениям таких факторов, как спрос на зарядные станции в зависимости от времени, дня недели, месяца, погоды в определенный промежуток времени. Построенную модель временного ряда можно обучать и тестировать на данных о зарядных станциях из открытых источников для исследования влияния параметров на точность прогнозов. Однако каждую конкретную сеть зарядных станций необходимо обучать на данных, учитывающих ее локальные особенности.

Существуют две основные цели анализа временных рядов – это определение природы ряда и прогнозирование (предсказание будущих значений временного ряда по настоящим и прошлым значениям). Для достижения этих целей требуется построение математической модели временного ряда.

После определения модели ряда становится возможным с ее помощью интерпретировать рассматриваемые данные (использовать для понимания временных или сезонных изменений популярности тех или иных зарядных станций). Затем, на основе построенной модели, можно экстраполировать ряд, то есть предсказать его будущие значения.

Часто существует дополнительная информация, которая помогает в прогнозировании. Данные, известные на некоторый промежуток времени в будущем, называются регрессорами. Это дополнительные временные ряды, значения которых известны не только в прошлом. Такие данные можно использовать для извлечения большей информации из процесса и улучшения прогноза. Так, календарь праздников поможет предсказать рост продаж шампанского перед Новым годом и тюльпанов перед 8 Марта, а вместе с этим накануне праздников вырастет трафик движения и, как следствие, спрос на зарядные станции. Использование регрессоров позволит улучшить модель и сможет предсказывать такое поведение. Как и большинство других видов анализа, анализ временных рядов предполагает, что данные содержат закономерную составляющую и случайный шум, затрудняющий обнаружение регулярных компонент. Большинство методов исследования временных рядов включает различные способы фильтрации шума, позволяющие увидеть регулярную составляющую более отчетливо. Например, на качество прогноза не должен повлиять единичный случай ро-

ста спроса на зарядные станции в районе X из-за сбоя работы зарядных станций в районе Y.

Большинство регулярных составляющих временных рядов являются либо трендом, либо сезонной составляющей. Тренд представляет собой общую систематическую линейную или нелинейную компоненту, которая может изменяться во времени. Сезонная составляющая – это периодически повторяющаяся компонента. Оба эти вида регулярных компонент часто присутствуют в ряде одновременно. Например, в часы пик, выходные и праздники, а также летом спрос на зарядные станции может возрасти, так как большее количество людей пользуется автомобилями, но также спрос на зарядные станции будет возрасти и каждый год, так как будет увеличиваться количество владельцев электромобилей. Эту общую модель можно понять на ряде, представляющем месячные международные авиаперевозки в течение 12-ти лет с 1949-го по 1960-й годы. График месячных перевозок показывает почти линейный тренд, имеется устойчивый рост перевозок из года в год. В то же время характер месячных перевозок повторяется, они имеют почти один и тот же характер в каждом годовом периоде (например, перевозок больше в отпускные периоды, чем в другие месяцы). Этот пример показывает довольно определенный тип модели временного ряда, в которой амплитуда сезонных изменений увеличивается вместе с трендом, – модель с мультипликативной сезонностью (см. рис. 1).

Если тренд является монотонным (устойчиво возрастает или устойчиво убывает), то анализировать такой ряд нетрудно. Если временные ряды содержат значительную ошибку, то первым шагом выделения тренда является сглаживание. Сглаживание всегда включает некоторый способ локального усреднения данных, при котором несистематические компоненты взаимно погашают друг друга. Таким образом, сглажи-

вание позволяет отфильтровать шумы и преобразовать данные в относительно гладкую кривую, используя методы скользящего среднего, медианного сглаживания или метод наименьших квадратов. Ряды с относительно небольшим количеством наблюдений и систематическим расположением точек могут быть сглажены с помощью бикубических сплайнов.

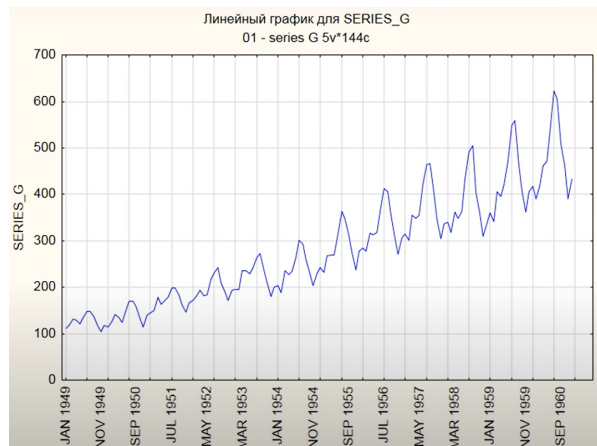


Рис. 1 – График, демонстрирующий ежегодный рост количества авиаперевозок

Многие монотонные временные ряды хорошо описываются линейной функцией. Если же имеется явная монотонная нелинейная компонента, то данные вначале следует преобразовать, чтобы устранить нелинейность. Обычно для этого используют логарифмическое, экспоненциальное или полиномиальное преобразование данных. Периодическая и сезонная зависимости представляют собой другой общий тип компонент временного ряда. Это понятие было проиллюстрировано ранее на примере авиаперевозок пассажиров. Можно заметить, что каждое наблюдение очень похоже на соседнее; имеется повторяющаяся сезонная составляющая, означающая, что каждое наблюдение похоже на наблюдение в том же самом месяце, но год тому назад. Периодическая зависимость может быть формально определена как корреляционная зависимость порядка k между каждым i -м элементом ряда и $(i-k)$ -м элементом, где k обычно называют лагом. Ее можно измерить с помощью автокорреляции, т.е. корреляции между самими членами временного ряда. Если ошибка измерения не слишком большая, то сезонность мож-

но определить визуально, рассматривая поведение членов ряда через каждые k временных единиц. Сезонные составляющие временного ряда могут быть найдены с помощью коррелограммы. Коррелограмма (автокоррелограмма) показывает численно и графически автокорреляционную функцию (АКФ), иными словами, коэффициенты автокорреляции (и их стандартные ошибки) для последовательности лагов. Корреляционный анализ произвольного временного ряда позволяет сделать следующие выводы:

1. Если ряд содержит тренд, то коэффициент автокорреляции значителен для первых нескольких сдвигов ряда, а в дальнейшем – убывает до нуля.
2. Если действие случайной компоненты велико, то коэффициенты автокорреляции для любого значения сдвига будут близки к нулю.
3. Если ряд содержит сезонную компоненту, то коэффициент автокорреляции будет большим для значений сдвига, равных периоду сезонной составляющей или кратных ему.

Таким образом, корреляционный анализ позволяет выявить во временном ряду тренд и сезонную компоненту, а также определить, насколько поведение ряда обусловлено его случайной компонентой. Знание данных свойств временного ряда помогает строить более адекватные модели и выбирать методы прогнозирования. Использование реальных данных о спросе на зарядные станции в зависимости от времени, дня недели, месяца, погоды и т.д.; а также регрессоров и методов фильтрации шума делает возможным прогнозировать спрос на зарядные станции, а значит, и предсказывать их доступность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Time series analysis: „Forecasting and control” / Box, G. E. and Jenkins, G.M./ Holden-Day, San Francisco., 1976. – 500 p.
2. The Advanced Theory of Statistics Volume 3: Design and analysis, and Time-Series / Kendall, M.G. and Stuart, A. / Charles Griffin and Co. Ltd., London., 1976. – 557 p.
3. Анализ данных и процессов: учеб. пособие / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, И. И. Холод, М. Д. Тесс, С. И. Елизаров. — 3-е изд., перераб. и доп. — СПб.: ВХВ-Петербург, 2009. — 512 с.

COMPREHENSIVE AUTOMATED SYSTEM FOR STUDYING THE THEORY OF ELECTRICAL CIRCUITS

Gudkov A., Shylin L.

Department of Information Technology Automated Systems,
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: gudkov_fit@mail.ru, dekgitu@bsuir.by

The article considers the implementation of a package of application software that performs a number of specific tasks for students and teachers of disciplines related to the studying of electrical circuits in higher educational institutes. The C++ programming language technologies were used with Qt5 framework, window of WinForms with a graphical context OpenGL.

INTRODUCTION

In the process of studying the disciplines related to the calculation of electrical circuits, students of higher educational institutes sometimes have difficulties finding tasks on a certain topics for practicing them, and the teachers have the need to manually check the students' solutions.

The authors developed a comprehensive automated system for studying the discipline "Theory of Electrical Circuits". This system consists of three independent modules, which are the software packages that perform a number of specific tasks. The first two modules perform the generation of electrical circuit data and its schemes for students. And the third one perform the calculation of electrical circuits with providing solutions for teachers.

I. SYNTHESIS OF ELECTRICAL CIRCUIT COMPONENT DATA FOR TRAINING TASKS

For ease of generating, we will represent an electrical circuit in the form of a directed graph formed according to certain rules [1]. The directions of its branches coincide with the directions of the currents in the branches wires, and the vertices coincide with the nodes of the electrical circuit scheme. In our program you need to set initial conditions such as:

- range of values for the resistances;
- range of values for current voltage sources;
- quantity (range) of current and voltage sources;
- quantity (range) of resistances;
- number of equations to be solved by the method of contour currents;
- number of equations to be solved by the method of nodal potentials.

Based on the calculation method and the number of equations to solve, the program starts to synthesize the chain graph. Next, the resistance values are generated by random variables from the preconditions. We perform similar actions for the voltage and current sources. You also need to find out the number of branches in the circuit based on the number of voltage and current sources. After that, using the randomize method, we arrange the initial ele-

ments of the chain in any form, observing certain rules.

As a result, we obtain a model of an electrical circuit represented as a directed graph. According to its graph, we get an electrical circuit data, which is presented in format of a text table that is convenient for exporting files between applications (formats like *TXT*, *CSV*, *JSON*, *XML*). The data table shows the following circuit parameters:

- number of branches;
- direction of currents in branches from the start node to the end node;
- resistances values;
- voltage source values;
- current source values.

In addition to generating direct current (DC) circuit data the program generate data of alternating current (AC). This way the data table is extended by Complex values by addition the imaginary part into resistances of capacitors and inductance coils, as well as arguments for voltage and current sources.

II. PROCESSING OF COMPONENT DATA AND ITS REPRESENTATION IN THE FORM OF ELECTRICAL CIRCUIT SCHEME

After generating file with data table of circuit the program process it and presents as an image of the electrical circuit scheme. The first step of the graphical visualization algorithm is converting component data into a mathematical model – a set of structures that store the begin node and the end node of a current branch, and data matrices that store the characteristics of branches. When we read the data from a table it is effective to immediately form component matrices, since each column of the table reflects a specific branch of the circuit.

A universal class is implemented for data obtained from component matrix information in a text document for both AC and DC circuits. In the case of direct current, the complex fields (such as imaginary parts and arguments) of the object have the *NULL* value.

A class for graphical visualization was also implemented. It describes an algorithm for graphical representation of a mathematical model using the

capabilities of the programming language *C++*, and also uses the capabilities of its graphical framework *Qt5*, especially its library – *QtGL* [2]. The result is provided in the *WinForms* main application window with a *OpenGL* graphical context, the menu of which allows you to print graphic diagrams with export them to *PDF* file or save it as a binary image [3].

III. CALCULATION THE ELECTRICAL CIRCUITS

After circuit data visualization in the form of schemes for students the software calculates these schemes and show the solutions for teachers. In this problem, the mathematical model of an electrical circuit is a set of matrices that are divided into two types [4]:

- topological matrices that characterize the structural features of the circuit, determined by the method of connecting the basic components of two-poles, while the type of components doesn't play any role;

- component matrices that reflect the values of the circuit components.

The currents in the circuit are calculated based on the matrix method of nodal potentials, which is valid for both DC and AC circuits [5]. Firstly a topological nodal matrix is formed based on the directed graph. It is very convenient to take the last generated node of the graph as the basis node (t.i. remove the last vertex from consideration), which is a significant advantage for the software implementation of this approach over the method of contour currents – there is no need to search for independent circuit contours.

Given that each branch of the circuit can be represented as a generalized one, component column-matrices are formed with source data of the chain for E , J , R , and the diagonal-matrix RD , which dimensions are equal to the number of branches of the circuit. The representation of an electrical circuit in the form of a mathematical model allows us to describe its calculation on the algorithmic way, which can be represented as a block diagram (Fig. 1).

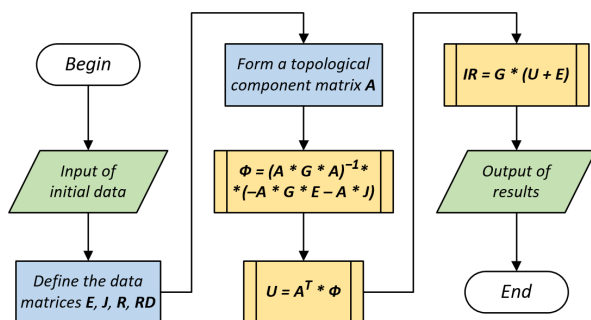


Figure 1 – Block diagram of the nodal potentials method algorithm

An Object-Oriented Programming approach allows us to display the abstraction of matrix calculations in the application software. Classes *MatrixFloat* and *MatrixComplex* (inherited from the base class *Matrix<T>*), fully represent the logic of mathematical operations for real-valued (*Float*) and Complex-value (*Complex*) matrices, respectively. They contain the dimensions of the matrix (*int rows, columns*), its order (*int order*) and a two-dimensional dynamic array of element values (*T buffer[rows][columns]*) Based on the formulas and theorems of matrix calculus (like Laplace, Jordan-Gauss, etc.), the necessary algorithms were implemented and overloaded corresponding arithmetic operations in the program code. To calculate the sinusoidal current circuit, a Complex matrix element is introduced *MatrixComplex* – class *Complex*, it allows performing transformations on Complex numbers and their interactions in both algebraic and exponential forms [6].

In the class-interface of an electrical circuit *Circuit* the algorithms described earlier are implemented in the form of a program code-generalized matrix equations of the nodal potentials method. The return value of the method *CircuitCalculator::CalculateCircuit(const E)* is the result of calculating the electrical circuit – matrix-column IR of currents in the branch resistances.

CONCLUSION

As a result of the work, the authors implemented a package of application software that performs a number of specific tasks for students and teachers of disciplines related to the study of electrical circuits in higher educational institutes. Software efficiency is determined by the ability to generate arrays of practical tasks of both DC and AC electrical circuits schemes with any topology, as well as to obtain the most accurate values of their calculations in the shortest possible time.

REFERENCES

1. Артым, А. Д. Новый метод расчета процессов в электрических цепях / А. Д. Артым, В. А. Филин, К. Ж. Есполов. – СПб.: «Элмор», 2001. – 192 с.
2. Lazar, G. Mastering Qt 5.X – Second Edition: Create stunning cross-platform applications using Qt, Qt Quick, and Qt Gamepad / G. Lazar, R. Penea. – Packt Publishing, 2018. – 613 p.
3. Gordon, V. S. Computer Graphics Programming in OpenGL with C++ / V. S. Gordon, J. Clevenger. – Mercury Learning & Information, 2018. – 384 p.
4. Harary, F. Graph theory / F. Harary. – CRC Press, 1994. – 288 p.
5. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники / Г. И. Атабеков. – М.: «Энергия», 1978. – 592 с.
6. Lafore, R. Object-Oriented Programming in C++, Fourth Edition / R. Lafore. – SAMS Publishing, 800 East 96-th St., Indianapolis, Indiana 46240 USA, 2002. – 1038 p.

IMBALANCED DATA CLASSIFICATION ALGORITHM

Guo Qiang, German O.V.

Department of Information Technology in Automated Systems,
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: 254951872@qq.com, ovgerman@tut.by

This article mainly analyzes the characteristics and challenges of imbalanced data, analyzes the research status of imbalanced data integration classification algorithms and combines the actual situation, based on ensemble learning. Research and improvement of classification algorithms.

INTRODUCTION

In the modern society with highly developed big data and the Internet, based on the diversity and complexity of data information, imbalanced data widely exists. Therefore, the problem of imbalanced data classification will be an insurmountable difficulty in the data field, and it has very important practical value for its research and learning. Classification is one of the important knowledge acquisition methods in machine learning and data mining, and existing classification algorithms usually assume that the data set used for training is balanced. But real-world classification problems are often not balanced datasets, and even have serious imbalances. When encountering class data imbalance, the traditional classification algorithm with the overall classification accuracy as the learning goal will pay too much attention to the majority class, and the classification performance of the minority class samples will be degraded, such as oil leak detection, medical diagnosis, software fault detection, etc. [1]

Imbalanced data classification focuses on the performance of learning algorithms when the class data is unbalanced or under-represented, and the study of this problem has become one of the hot topics in the field of machine learning. According to the existing research results, solving the classification problem of imbalanced data can be handled by rebalancing the data through sampling techniques.

However, the ensemble learning algorithm aims to reduce the overall classification error rate, but does not consider the difference in the classification cost of different samples, and often has a poor recognition effect on key minority samples. Therefore, the improvement of the ensemble learning algorithm is also a great challenge.

I. CLASSIFICATION ALGORITHM BASED ON ENSEMBLE LEARNING

Slave-balanced data refers to the huge difference in the number of samples in each category of the data set. Taking binary classification as an example, the number of samples in the positive class is much larger than the number of samples in the negative class, as shown in Figure 1.

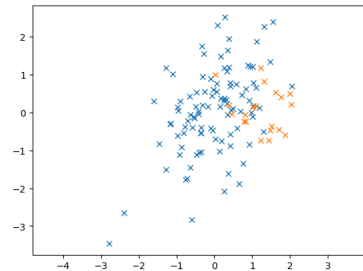


Figure 1 – Imbalanced data

Imbalanced data are mainly manifested in two types: inter-class imbalance and intra-class imbalance. Inter-class imbalance refers to the unequal distribution of data between classes. In some practical applications, the data presents extreme class-to-class data imbalance, and some imbalance ratios can reach 1000:1 or higher. Intra-class imbalance refers to the imbalance in the number of samples of a class and its subclasses, or the data of a certain class presents multiple small discrete items. Usually, the data imbalance between classes is not the only factor that affects classification learning, and the data imbalance within a class is the key factor that affects the classification effect. Therefore, the problem of imbalanced data classification is mainly due to the complexity of data distribution, such as data overlap, the existence of subclasses of minority classes, and the problem of small separation items. These problems directly affect the learning of the classifier. [2]

The evaluation indicators for imbalanced data are special. First, the minority class concerned by the classification learning task is defined as positive class T, and the majority class is defined as negative class N, so there are four kinds of prediction results: positive and correct (Tp), positive and wrong (Tn), negative and correct (Fn), negative class and false (Fp). The accuracy rate (P) indicates that the positive examples are correctly classified and is sensitive to the distribution of the data. The recall rate (R), also known as the recall rate, indicates the completeness of the correct classification of positive examples and is not sensitive to the distribution of the data. The ideal classification result is that the higher the precision and recall, the better. The F value is the weighted harmonic mean of precision

and recall, and is the most common F1 value when the parameter $b = 1$. F1 combines the results of precision and recall. When the F1 value is high, the result is ideal. G-means represents the balance between the positive classification accuracy and the negative classification accuracy.

$$P = \frac{Tp}{Tp + Fp} \quad (1)$$

$$R = \frac{Tp}{Tp + Fn} \quad (2)$$

$$F = \frac{(b^2 + 1) * P * R}{b^2 * R + 1} \quad (3)$$

$$G = \sqrt{\frac{Tp}{Tp + Fn} * \frac{Tn}{Tn + Fp}} \quad (4)$$

As a typical representative of current machine learning, ensemble learning algorithm can improve the overall classification accuracy by group decision-making, and is widely used in the classification of imbalanced data. Ensemble learning is a technique that improves the final learning effect by training and integrating multiple weak classifiers. The multi-sampling technique in ensemble learning can be integrated with the optimal class distribution of imbalanced data and the search for optimal class representative examples to avoid additional learning costs. Ensemble classification learning is a machine learning technology that integrates multiple base classifiers to make decisions together, obtains multiple different base classifiers by invoking a simple classification algorithm, and then combines the base classifiers into one classifier in some way. The accuracy and difference of the base classifier are two important factors that affect the learning effect of the final ensemble classifier. [3]

The ensemble classification algorithm aims at the overall learning accuracy and cannot be directly used for classification learning of imbalanced data, but is processed at the algorithm or data level. Algorithmic processing refers to introducing a cost factor in the training process of the ensemble classification algorithm, and assigning different cost factors according to the different costs of different classes of samples being misclassified to form a cost-sensitive ensemble classification algorithm. Data processing refers to incorporating sampling techniques that rebalance the data in the process of building a base classifier, so that the ensemble algorithm can build a classifier on balanced training data that does not affect learning performance.

In order to solve the insufficiency of the single evaluation index, the ROC curve evaluation index appeared to classify and evaluate the imbalanced data. The ROC curve is a graphical way to show the tradeoff between true and false positive rates of a classification model. The ROC curve is shown in Figure2.

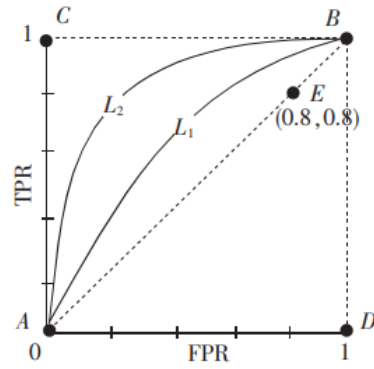


Figure 2 – Roc curve

The area under the ROC curve provides another way to evaluate the average performance of the model, the larger the area, the better the model. An ideal model has an area value of 1. [4]

The classification algorithm based on ensemble learning is very effective in dealing with imbalanced data, but the classification algorithm will never be perfect, there will always be new problems and new requirements, and then the algorithm must be improved and improved, so Further, the imbalanced data classification algorithm has a very broad room for improvement.

II. CONCLUSION

The classification of unbalanced data is widely used in social life, such as credit card fraud detection, spam filtering, and network intrusion detection, which makes the study of this type of data a research hotspot in the field of data mining. This paper reviews the imbalanced data classification algorithm based on ensemble learning. Data distribution adjustment is the most direct method to solve the problem of class imbalance, and the imbalanced data is converted into balanced data to eliminate the impact of class imbalance. Transformation The main methods are resampling, data grouping and single-class learning. Data distribution adjustment changes the distribution of the original data, which may lead to loss of valuable information or overfitting problems.

III. REFERENCES

1. CHAWLA N. V., JAPKOWICZ N., KOTCZ A. Editorial: special issue on learning from imbalanced data sets [J]. ACM SIGKDD Explorations Newsletter, 2004, 6(1) : 1-6
2. PEARSON R., GONEY G., SHWABE R. J. Imbalanced clustering for microarray time-series [C] //Proc of the 20th International Conference on Machine Learning. 2003.
3. TING K. M. A comparative study of cost-sensitive boosting algorithms [C] //Proc of the 17th International Conference on Machine Learning. 2000: 983-990.
4. DAVIS J. GOADRICH M. The relationship between precision-recall and ROC curves [C] //Proc of the 23rd International Conference on Machine Learning. New York: ACM Press , 2006: 233-240.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПАРКА АВИАКОМПАНИИ

Клепцова М. А., Гуринович А. Б.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: marz-peo@mail.ru, gurinovich@bsuir.by

Дано понятие системы поддержки принятия решений, представлен краткий анализ методов и моделей поддержки принятия решений. Определены ограничения, приоритеты и начальные параметры для построения системы (алгоритма) поддержки принятия решений по формированию структуры парка авиакомпании.

ВВЕДЕНИЕ

Как отмечают многие эксперты в области гражданской авиации в последний год ситуацию в отрасли можно назвать «хаосом». На это повлияли различные факторы, в первую очередь состояние неопределенности, проявившееся в нарушении мировых логистических цепочек в связи с пандемией COVID-19. В настоящее время, усилиями участников отрасли и участников рынка ситуация в грузовой авиации немножко превращается в «упорядоченный хаос». Анализ мировых объемов спроса на перевозку грузов воздушным транспортом показывал стабильный рост в 2021-2022. В целом же, если посмотреть на 20-летний горизонт планирования, по экспертным оценкам, несмотря на эффекты пандемии, сохраняются следующие средние темпы роста, они подтверждены всеми основными международными организациями (ИКАО, ИАТА): глобальный рост ВВП на 20-летнем периоде составит 2,7%, рост грузовых авиационных перевозок – 4%, обновление парка воздушных судов будет идти со средним темпом 3,1% в год. Безусловно, требуются новые воздушные суда, будут восстанавливаться перевозки, будет расти экономика, соответственно, клиенты для перевозки будут появляться и дальше. [3] При этом пандемия показала, где реально существует спрос, где есть очень жесткая потребность. В значительной степени сегодня необходимо изменение структуры провозных емкостей для наиболее полного удовлетворения потребностей мировой экономики. Поэтому формирование структуры грузового парка авиакомпании в соответствии с требованиями рынка является первоочередным при принятии управленческих решений и формировании бизнес-стратегии компании.

I. СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Управленческое решение – важнейший вид управленческого труда, а также совокупность взаимосвязанных, целенаправленных и логически последовательных управленческих действий, которые обеспечивают эффективную реализацию управленческих задач. Система поддержки принятия решений – это компьютерная система, которая путем сбора и анализа большого количества информации может влиять на процесс принятия решений организационного плана в бизнесе и предпринимательстве. Интерактивные системы позволяют руководителям получить полезную информацию из первоисточни-

ков, проанализировать ее, а также выявить существующие бизнес-модели для решения определенных задач. С помощью СППР можно проследить за всеми доступными информационными активами, получить сравнительные значения объемов продаж, спрогнозировать доход организации при гипотетическом внедрении новой технологии, а также рассмотреть все возможные альтернативные решения. [1] Система поддержки принятия решений – комплекс математических и эвристических методов и моделей, объединенных общей методикой формирования альтернатив управленческих решений в организационных системах, определения последствий реализации каждой альтернативы и обоснования выбора наиболее приемлемого управленческого решения. [1] Поддержка принятия решений и заключается в помощи лицу, принимающему решение (ЛПР), в процессе принятия решений. Она включает [1]:

- помощь ЛПР при анализе объективной составляющей, то есть в понимании и оценке сложившейся ситуации, и ограничений, накладываемых внешней средой;
- выявление предпочтений ЛПР, то есть выявление и ранжирование приоритетов, учет неопределенности в оценках ЛПР и формирование его предпочтений;
- генерацию возможных решений, то есть формирование списка альтернатив;
- оценку возможных альтернатив, исходя из предпочтений ЛПР, и ограничений, накладываемых внешней средой;
- анализ последствий принимаемых решений;
- выбор лучшего с точки зрения ЛПР варианта.

При разработке алгоритма поддержки принятия решений по формированию структуры парка авиакомпании в качестве ограничений, накладываемых внешней средой станут:

- территориальные ограничения (наличие лимита страхового покрытия, аэропортовая сеть, наличие сертифицированных станций технического обслуживания, ограничения на пролет территорий, наличие сертификата IATA (IOSA), наличие оборудования для полетов по международным воздушным линиям (МВЛ) и др.);
- экологические ограничения (требованиям ИКАО по шумам и эмиссии);
- технические ограничения (грузоподъемность, характеристики грузового отсека, способ загрузки/разгрузки);

- финансовые ограничения;
- конкурентная среда.

В качестве приоритета в алгоритмах поддержки принятия решений по формированию структуры парка авиакомпании может служить страна происхождения воздушного судна (страна-разработчик) и, следовательно, возможность поддержания его летной годности, а также наличие схожих типов воздушных судов у эксплуатанта. Основным критерием при выборе лучшего варианта является получение максимальной прибыли при минимизации затраченных финансовых ресурсов. Система поддержки принятия решений в большинстве случаев это интерактивная автоматизированная система, которая помогает лицу, принимающему решения, использовать данные и модели для идентификации и решения задач и принятия решений. Входящими данными при разработке алгоритма поддержки принятия решений по формированию структуры парка авиакомпании являются:

- технические характеристики воздушного судна (масса пустого/снаряженного самолета, максимальная полезная нагрузка, максимально допустимая посадочная нагрузка, емкость топливных баков, тип применяемого двигателя, максимальная тяга, максимальная скорость, крейсерская скорость, количество членов экипажа);
- финансовые (стоимость приобретения воздушного судна, финансовые затраты для ввода в эксплуатацию, подготовки производства, эксплуатационные расходы);
- экономические (ставка летного часа на данном типе воздушного судна, доходность рейса, рентабельность рейса).

II. МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Для того чтобы управленческое решение было точным, необходимо соблюсти определенные методологические подходы, в основе которых лежат определенные методы и модели [2]:

1. Метод системного анализа предназначен для выбора наиболее эффективных управленческих решений. В его основе лежит полная и всесторонняя проверка вариантов действий с точки зрения количественного и качественного сопоставления затраченных ресурсов с получаемым эффектом. В рамках системного анализа возможно применение математических методов (статистических, многомерных, регрессионных, корреляционных, имитационных, статистической теории принятия решений, линейного и нелинейного программирования) и критериев для определения количественных значений показателей, характеризующих результаты альтернатив управленческих решений.

2. Методы моделирования (или методы исследования операций) базируются на использовании математических моделей для решения наиболее часто встречающихся управленческих задач.

3. Модели теории игр. Большую часть хозяйственных операций можно рассматривать как действия, совершаемые в условиях противодействия. К противодействиям следует относить такие, например, факторы, как авария, пожар, кража, забастовка, нарушение договорных обязательств и т.п. Однако наиболее массовым случаем противодействия является конкуренция, что является наиболее актуальным при формировании структуры парка авиакомпании. Поэтому одним из важнейших условий, от которого зависит успех организации, является конкурентоспособность.

4. Модели теории очередей. Модели теории очередей (или оптимального обслуживания) используются для нахождения оптимального числа каналов обслуживания при определенном уровне потребности в них.

5. Модели управления запасами. Модели управления запасами позволяют найти оптимальное решение, т.е. такой уровень запаса, который минимизирует издержки на его создание и поддержание при заданном уровне непрерывности производственных процессов.

6. Модели линейного программирования. Эти модели применяют для нахождения оптимального решения в ситуации распределения дефицитных ресурсов при наличии конкурирующих потребностей.

III. ВЫВОДЫ

С точки зрения принятия решений организационные формы должны быть подчинены достижению поставленных целей и процессу решения связанных с этим проблем. При этом наиболее эффективным может стать комбинирование различных моделей и методов на отдельных этапах принятия решений. На первоначальном этапе обосновано применение моделей теории игр, с целью оценки конкурентной среды, с последующим поиском оптимального решения с использованием моделей линейного программирования.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокопенко, Н.Ю. Системы поддержки принятия решений на базе Deductor Studio Academic 5.3 / Н.Ю. Прокопенко // Нижний Новгород, ННГАСУ, 2017. - 188 с.
2. Горфинкель, В.Я. Экономика предприятия / В.Я. Горфинкель // 2013.
3. Кукарев С.В. Тренды развития рынка грузовых авиаперевозок [Электронный ресурс] /Альта Софт, Центр стратегических разработок на транспорте (ЦСРТ).- Режим доступа: <https://www.alt.a.ru/expertopinion/84221/>

СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

Крейс А. В., Боброва Н. Л.

Факультет компьютерных систем и сетей, Кафедра информатики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: kreiu0@bk.ru, bobrova@bsuir.by

В данной статье делается обзор современных систем распознавания речи, рассматривается их применение в различных сферах жизнедеятельности человека, обосновывается польза от использования подобных систем, изучаются принципы их реализации, приводятся сведения из истории развития данных систем.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время системы распознавания речи распространены очень широко в различных сферах жизнедеятельности человека. Во многих случаях они позволяют упростить взаимодействие человека с компьютером, автоматизировать различные операции. Целью данной статьи является обзор сведений о системах распознавания речи. К задачам данной статьи следует отнести определение и классификацию систем распознавания речи, обзор истории их развития, изучение принципов их работы, сбор сведений о современных реализациях и сферах применения систем распознавания речи.

I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Распознавание речи – это технология, с помощью которой речь человека возможно трансформировать в текст [1].

Системы распознавания речи можно классифицировать по различным критериям:

1. по зависимости от диктора:
 - системы, зависимые от диктора. Для работы с другим диктором такие системы требуют полной перенастройки;
 - системы, не зависящие от диктора [2];
2. по размеру словаря (по количеству слов, которое может распознать система);
3. по слитности речи:
 - слитная речь (пользователь может не делать дополнительных пауз между отдельными словами и фразами);
 - раздельная речь;
4. по типу структурной единицы (алгоритмы, использующие в качестве эталонов слова целиком или лишь части слов) [3];
5. по используемым алгоритмам:
 - скрытые Марковские модели (СММ);
 - динамическое программирование;
 - нейронные сети;
 - методы дискриминатного анализа [4];
6. по назначению.

II. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ

Первое устройство, способное распознавать речь, появилось в 1952 году. Это устройство по-

лучило название Audrey и было создано в компании Bell Labs. Оно было способно распознавать произнесенные человеком цифры [5].

Еще один этап развития технологии распознавания речи датируется 1962 годом, когда на рынке была представлена IBM Shoebox, которая могла распознавать не только цифры, но и некоторые команды для выполнения арифметических операций.

В 1976 году в рамках проекта DARPA, профинансированным министерством обороны США, была представлена машина Harry, которая могла распознавать 1011 слов. Вместо того, чтобы слышать целиком услышанные слова с образцами, Harry разделяла их на аллофоны (образец звучания фонемы (наименьшая акустическая единица языка [6]) в зависимости от окружающих ее букв) [7].

В 1986 году компания IBM выпустила пишущую машину с голосовым управлением, которая получила название Tango. Она могла распознавать 20000 слов английского языка и использовала СММ. Это устройство могло приспосабливаться к голосу говорящего [5].

В 1997 году был выпущен первый в мире универсальный распознаватель речи, который не требовал делать паузу перед каждым словом, в виде программного обеспечения Dragon's NaturallySpeaking. Он был способен распознавать 100 слов в минуту [5,7].

III. ПРИНЦИП РАБОТЫ

Принцип работы системы распознавания речи зависит от используемого алгоритма(-ов) (перечислены выше).

Подаваемый звуковой сигнал необходимо предварительно очистить от шумовых помех. Существуют различные методы очистки сигнала от помех, такие как методы, связанные с выделением признаков, которые являются инвариантными относительно шума; алгоритмы, основанные на коэффициентах линейного предсказания, мел-кепстральных коэффициентах; алгоритмы, связанные с цифровой обработкой сигналов и др [3].

Важным этапом предварительной обработки входного сигнала является нормализация

уровня сигнала. Это позволяет уменьшить погрешности распознавания, связанные с тем, что диктор может произносить слова с разным уровнем громкости [8].

Как правило, система распознавания речи состоит из двух моделей: акустической и лингвистической.

Акустическая модель отвечает за преобразование речевого сигнала в набор признаков, в которых отображена информация о содержании речевого сообщения. Программа выполняет сложный анализ речи, сравнивая аудиофрагменты с записанными в память речевыми образцами.

Лингвистическая модель анализирует информацию, получаемую от акустической модели, и формирует окончательный результат распознавания. На основе вероятностного расчета компьютер определяет, что именно мог произнести пользователь [6].

Если используются нейронные сети, они извлекают из потока речи фонемы и сопоставляют их с буквой, слогом или словом. Далее образуется порядок из известных программе слов, а неизвестные слова вставляются по контексту [1].

Если используются СММ, то производится анализ признаков распознаваемого слова и формирование соответствующей последовательности наблюдений [9]. Данные последовательности подаются моделям СММ, которые хранятся в базе, вычисляется вероятность того, что данная последовательность подходит к очередной СММ, слово, которому принадлежит СММ с наибольшей вероятностью, считается искомым [10].

При использовании алгоритма DWT (динамическое программирование) определение слова может осуществляться путем сравнения числовых форм сигналов или путем сравнения спектрограммы сигналов [11].

IV. СОВРЕМЕННЫЕ РЕАЛИЗАЦИИ И СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Системы распознавания речи используются в различных сферах жизнедеятельности человека. Они используются в системах голосового обслуживания и интерактивных автоответчиках [12], в медицине [1] и т.д.

Распознавание речи используется в различных голосовых помощниках. Примером такого помощника является Siri от компании Apple.

Кроме того, системы распознавания речи используются при расшифровке аудио- и видеозаписей, например, для подготовки документов по результатам собеседований [13].

Ряд компаний предоставляют разработчикам API для использования систем распознавания речи в своих приложениях. Примером может служить Google Cloud Speech-To-Text API.

Использование распознавания речи в различных системах делает возможным их использование людьми с нарушениями здоровья, например, слабовидящими людьми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье был выполнен обзор сведений о системах распознавания речи. Их высокая актуальность объясняется не только тем, что они автоматизируют различные процессы и делают взаимодействие человека с различными системами более комфортным, но и потому, что значительно облегчают использование таких систем людьми с нарушениями здоровья.

1. Mango Office [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mango-office.ru/newsletter/kak-rabotaet-raspoznavanie-rechi/>. – Дата доступа: 11.10.2022.
2. Речевые Технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://speetech.by/index.php?q=technologies/gaspoznavanie>. – Дата доступа: 11.10.2022.
3. Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2016/05/67547>. – Дата доступа: 11.10.2022.
4. Хабр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/135087/>. – Дата доступа: 11.10.2022.
5. itnan.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itnan.ru/post.php?c=1I&p=346928>. – Дата доступа: 11.10.2022.
6. Казачкин, А. Е. Методы распознавания речи, современные речевые технологии / А. Е. Казачкин // Молодой ученый. – 2019. – № 39 (277). – С. 6–8.
7. Хабр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/toshibarus/blog/490732/>. – Дата доступа: 11.10.2022.
8. Электронная библиотека книг братьев Фроловых [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.frolov-lib.ru/books/hi/ch05.html>. – Дата доступа: 11.10.2022.
9. Савин, А. Н. Разработка системы распознавания речи на основе скрытых марковских моделей отдельных слов / А. Н. Савин, Н. Е. Тимофеева, А. С. Гераськин, Ю. А. Мавлютова // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 452–464.
10. International Journal «Software Journal: Theory and Applications» (SJTA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://swsys-web.ru/speech-recognition-system-based-on-hidden-markov-models.html>. – Дата доступа: 11.10.2022.
11. Хабр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/135087/>. – Дата доступа: 11.10.2022.
12. Polygant [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://polygant.net/ru/ai/sistema-raspoznavaniya-rechi/>. – Дата доступа: 11.10.2022.
13. VK Cloud [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mcs.mail.ru/blog/slushaet-i-ponimaet-kak-rabotaet-tehnologija-avtomaticheskogo-raspoznavaniya-rechi>. – Дата доступа: 11.10.2022.

АЛГОРИТМЫ КОМПЕНСАЦИИ И СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ УГЛЕРОДА ДЛЯ ГРУЗОВОЙ АВИАЦИИ

Малахова А. Г., Гуринович А. Б.

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

E-mail: malakhova19830928@gmail.com, gurinovich@bsuir.by

ЭВ статье раскрываются основные проблемы, связанные с выбросами в атмосферу загрязняющих веществ от грузовой авиации. Приведены алгоритмы и сценарии решения данной проблемы.

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата – одно из наиболее серьёзных угроз устойчивости окружающей среды. Транспортный комплекс при выполнении своей важной социально-экономической функции потребляет значительное количество топливно-энергетических и других не возобновляемых ресурсов. На всех стадиях производства, эксплуатации и утилизации транспортных средств окружающей среде и обществу наносится значительный экологический ущерб: выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, транспортный шум и вибрация, загрязнение почвенного покрова и водных ресурсов, образование отходов, изъятие земельных и лесных ресурсов при строительстве транспортной инфраструктуры. [1] В последние десятилетия индустрия авиаперевозок развивалась стремительно, этот рост будет продолжаться и дальше, потому что летать и путешествовать – это насущная человеческая потребность. Авиационный вид транспорта – один из крупнейших загрязнителей атмосферного воздуха, его влияние на окружающую среду выражается, в основном, в выбросах в атмосферу токсинов с отработавшими газами авиационных двигателей и воздействии авиационных шумов. В настоящее время во всём мире на долю авиаперевозок приходится примерно от 2% выбросов CO_2 , одного из парниковых газов наряду с водяным паром и метаном. До пандемии этот показатель неуклонно рос, вирус на некоторое время переломил тенденцию. Но, как говорят некоторые эксперты, к 2050 году общемировые выбросы CO_2 за счет авиатранспорта, вероятно, могут в теории по сравнению с 2019 годом даже удвоиться. [5]

I. СОКРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ CO_2

Тема сокращения выбросов диоксида углерода для авиационного транспорта помимо актуальности данной проблемы и ощутимого влияния на окружающую среду имеет несколько алгоритмов решений. Исследуя проблему эмиссии различные научные труды и исследования предлагают несколько алгоритмов решений сокращения выбросов в атмосферу в том числе, переход на альтернативное топливо, модификацию воздушных судов, повышение топливной эффектив-

ности. Выбросы от авиации происходят из-за использования топлива для реактивных двигателей (керосина) и авиационного бензина (используется только для небольших поршневых двигателей), которые используются в качестве топлива для воздушных судов. Основными загрязняющими веществами являются вещества, которые возникают в результате сжигания – это CO_2 , CO , углеводороды и оксиды азота, при этом выбросы CO_2 зависят от уровня серы в топливе. Другими важными веществами, которые выделяются в относительно небольших концентрациях, являются N_2O , CH_4 . Одним из важных решений повышения экологичности грузовой авиации является модификация самолетов. При этом отмечается два направления – изменения в конструкции фюзеляжа и общая модернизация парка. К категории мер, связанных с первым направлением, относится уменьшение веса самолета. Эффективность такого решения обоснована зависимостью расхода топлива от максимальной взлетной массы: чем легче воздушное судно, тем меньше будет израсходовано топлива. В повышении экологичности также большое значение имеет модернизация парка воздушных судов. На данный момент самой «зеленой» разработкой в области грузовой авиации является Boeing 777-F, сочетающий в себе инновационные технологии. Благодаря эффективным двигателям и улучшенной аэродинамике он также считается двухмоторным грузовым самолетом с самой большой дальностью полета в мире, выражающиеся в снижении количества взлет/посадок, а значит, и меньшем вреде экологии. Еще одним важным шагом на пути к нулевым выбросам является повышение топливной эффективности. Топливная эффективность – это расход топлива, приходящейся на единицу транспортной работы (на 1 пассажиро-километр или на 1 тонно-километр). Уровень топливной эффективности зависит главным образом от удельного расхода топлива двигателей, аэродинамического и весового совершенства летательного аппарата, его грузоподъемность. При сравнении различных летательных аппаратов обычно используют значение топливной эффективности, рассчитанные по технической дальности полета. [2] В настоящее время основными причинами

низкой эффективности считается неправильное построение маршрутов и высокое аэродинамическое сопротивление. В рамках решения неправильного построения маршрутов были предложены такие техники уменьшения на 1 процент полетного времени за счет спрямления запланированных маршрутов, руление после посадки на двух работающих двигателях, использование визуальных заходов на посадку при благоприятных метеоусловиях.[3]

II. ТЕНДЕНЦИИ ВЫБРОСОВ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

Воздействия авиации на изменение климата всесторонняя оценка вклада авиации в глобальные атмосферные проблемы содержится в Специальном докладе об авиации и глобальной атмосфере, который был подготовлен по запросу Международной организации гражданской авиации (ИКАО) Межправительственной группой экспертов по изменению климата в сотрудничестве с Группой по научной оценке Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой. Выводы этого отчета включают:

1. самолеты выбрасывают газы и частицы, которые изменяют концентрацию парниковых газов в атмосфере, вызывают образование следов конденсации и могут увеличивать перистую облачность, что способствует изменению климата;
2. по оценкам, доля воздушных судов в общем радиационном воздействии (показатель изменения климата) в результате всей деятельности человека составляет около 3,5%, и что этот процент, который исключает последствия возможных изменений в перистых облаках, по прогнозам, будет расти.

В отчете признается, что воздействие одних видов авиационной эмиссии хорошо изучено, показывается, что воздействие других нет, и определяется ряд ключевых областей научной неопределенности, которые ограничивают возможность прогнозирования воздействия авиации на климат и озоновый слой.[4] В рамках глобальных экологических тенденций ИКАО Комитета по охране окружающей среды от воздействия авиации был разработан ряд сценариев для оценки будущих тенденций потребления топлива и выбросов парниковых газов. Сценарий 1 по расходу топлива и выбросам CO_2 включает эксплуатационные усовершенствования, необходимые для поддержания текущего уровня эксплуатационной эффективности, но не включает какие-либо технологические усовершенствования, помимо тех, которые доступны в современных серийных самолетах. Сценарий 2 (низкотехнологичный) предполагает улучшение расхода топлива на 0,96% в год для всех самолетов, поступающих в парк после 2010 г. и до 2015 г., и на 0,57% в год для всех самолетов,

поступающих в парк с 2015 г. по 2050 г., в сочетании с дополнительными эксплуатационными усовершенствованиями для всего флота. Сценарии 3, 4 и 5 (умеренная, продвинутая и оптимистичная технология) предполагают снижение расхода топлива на 0,96%, 1,16% и 1,5% в год соответственно для всех самолетов, поступающих в парк после 2010 г. до 2050 г., в сочетании с последними эксплуатационными инициативами. Сценарий 1 для выбросов не предполагает никаких новых авиационных технологий и поддерживает базовую эксплуатационную эффективность, достаточную для удовлетворения неограниченного прогнозируемого спроса. Сценарии 2 и 3 предполагают умеренные и передовые усовершенствования авиационных технологий и достижение 50% и 100%, соответственно, целевого показателя к 2036 г. без дальнейших улучшений в дальнейшем в сочетании с эксплуатационными улучшениями в масштабах всего парка. [5]

III. ВЫВОДЫ

Проведя анализ информации, можно сделать вывод о том, что на сегодняшний день экологическая проблема в сфере авиации очень актуальна, имеет обширную проработанную научную базу для изменений в авиации. Тенденции в авиационной среде свидетельствуют о высоком уровне вовлеченности компаний – авиаперевозчиков и аэропортов в процесс исследования. Многие страны вовлечены в решение этой проблемы, контролируя нормы выбросов, авиакомпании объединяются для разработки альтернативных видов топлива и модернизации авиадвигателей. Алгоритмы и сценарии решений проблемы выбросов в атмосферу от грузовой авиации, приведенные в статье, помогут действовать в направлении для получения к 2050 году чистого нулевого уровня выбросов.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия по снижению вредного воздействия транспорта [Электронный ресурс] <https://naturegomel.by/sites/files/inline/files>
2. Энциклопедия «Авиация» [Электронный ресурс] <https://avia.academic.ru/4930/>
3. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 05.03.2022, 5/49985 [Электронный ресурс] <https://pravo.by/document/?guid=12551p0=C22200112p1=1p5=0>
4. Internet portal of the International Civil Aviation Organization / Skip Navigation Links ICAO / Environmental Protection / Scientific Understanding [Electronic resource] <https://www.icao.int/environmentalprotection/Pages/scientific-understanding.aspx>
5. Internet portal of the International Civil Aviation Organization / Skip Navigation Links ICAO / Environmental Protection / Trends in Emissions that affect Climate Change [Electronic resource] <https://www.icao.int/environmentalprotection/pages/climatechangetrends.aspx>

MULTIDIMENSIONAL-MATRIX REPRESENTATION OF TENSOR

Mukha V. S.

Department of Information Technologies of Automated Systems, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: mukha@bsuir.by

The multidimensional-matrix representation of the arbitrary order tensor is presented which is the generalization of the known matrix representation of the second order tensor. It is showed that the elements of the multidimensional matrix of the initial moments of the random vector are the components of the tensor of the respective order. The theorem on the orthogonality of the transformation matrix of the arbitrary order tensor is given.

INTRODUCTION

The multidimensional-matrix mathematical approach is used in many applications one of them is control theory [1]. This approach is based on the theory of the multidimensional matrices that has very good foundations [2,3]. On the other hand, there are attempts to use the tensor as the multidimensional matrix. So, in [4] we find that "tensors are multidimensional generalizations of matrices". The illegality of such a replacement is noted shortly in [3]. In this article, we want emphasize that the generalization of the matrix to the multidimensional case should be performed in framework of the matrix theory but not in framework of the tensors theory. We will state some relationships between tensors and multidimensional matrices to achieve our goal.

I. TENSORS AND MULTIDIMENSIONAL MATRICES

Tensor is an object in linear finite-dimensional space. In tensor analysis, the so called Einstein summation convention is used: if an index is repeated in some term of the expression then the term must be summed with respect to that index for all admissible values of the index. For example, $x_i e_i$ is written instead of $\sum_{i=1}^n x_i e_i$, and $b_j = x_j^i e_i$ means the equality $b_j = \sum_{i=1}^n x_j^i e_i$. The tensor definition is connected with the transformation of the basis (coordinate system). Let x_i be the initial coordinate system with the basis e_i and y_j be the new coordinate system with the basis e'_j .

A tensor a of the order $p = r + s$ of the type r, s (r time covariant and s time contravariant) is the geometrical object which 1) is defined by n^{r+s} components $a_{i_1, \dots, i_r}^{k_1, \dots, k_s}$ in each basis e_i , $i = 1, 2, \dots, n$, of the real n -dimensional linear space L^n (indexes $i_1, \dots, i_r, k_1, \dots, k_s$ take the values $1, 2, \dots, n$ independently) 2) has such a property that its components $\bar{a}_{i'_1, \dots, i'_r}^{k'_1, \dots, k'_s}$ in the basis e'_j , $j = 1, 2, \dots, n$, are connected with the components $a_{i_1, \dots, i_r}^{k_1, \dots, k_s}$ in the basis e_i by the relations

$$\bar{a}_{i'_1, \dots, i'_r}^{k'_1, \dots, k'_s} = \alpha_{i'_1}^{i_1} \cdots \alpha_{i'_r}^{i_r} \alpha_{k'_1}^{k_1} \cdots \alpha_{k'_s}^{k_s} a_{i_1, \dots, i_r}^{k_1, \dots, k_s}, \quad (1)$$

in which $\alpha_{i'_j}^i$ are elements of the transition from the basis e_i to the basis e'_j and $\alpha_{k'_k}^{k'_k}$ are the elements of the inverse transition from the basis e'_j to the basis e_i [5].

We will consider only covariant tensors a_{i_1, \dots, i_r} , i.e. we suppose in the definition (1) $s = 0$ and receive the following definition:

$$\bar{a}_{i'_1, \dots, i'_r} = \alpha_{i'_1}^{i_1} \cdots \alpha_{i'_r}^{i_r} a_{i_1, \dots, i_r}. \quad (2)$$

A multidimensional (p -dimensional) matrix is a system of numbers or variables a_{i_1, i_2, \dots, i_p} , $i_\alpha = 1, 2, \dots, n_\alpha$, $\alpha = 1, 2, \dots, p$, located at the points of the p -dimensional space defined by the coordinates i_1, i_2, \dots, i_p . The p -dimensional matrix is denoted as

$$A = (a_{i_1, i_2, \dots, i_p}), \quad i_\alpha = 1, 2, \dots, n_\alpha, \quad \alpha = 1, 2, \dots, p,$$

or $A = (a_i)$, where $i = (i_1, i_2, \dots, i_p)$ is a multiindex, $i_\alpha = 1, 2, \dots, n_\alpha$, $\alpha = 1, 2, \dots, p$.

The matrix $A^T = (a_{i_1, i_2, \dots, i_p}^T)$ the elements $a_{i_1, i_2, \dots, i_p}^T$ of which are connected with the elements a_{i_1, i_2, \dots, i_p} of the matrix A by the equalities

$$a_{i_1, i_2, \dots, i_p}^T = a_{i_{\alpha_1}, i_{\alpha_2}, \dots, i_{\alpha_p}},$$

where $i_{\alpha_1}, i_{\alpha_2}, \dots, i_{\alpha_p}$ is some permutation of the indices i_1, i_2, \dots, i_p is called the transposed matrix A according to the substitution

$$T = \begin{pmatrix} i_1 & i_2 & \cdots & i_p \\ i_{\alpha_1} & i_{\alpha_2} & \cdots & i_{\alpha_p} \end{pmatrix}.$$

If a p -dimensional matrix A is represented in the form of $A = (a_{i_1, i_2, \dots, i_p}) = (a_{l, s, c})$, where $l = (l_1, l_2, \dots, l_\kappa)$, $s = (s_1, s_2, \dots, s_\lambda)$, $c = (c_1, c_2, \dots, c_\mu)$ are multiindexes, $\kappa + \lambda + \mu = p$, and a q -dimensional matrix B is represented in the form of $B = (b_{i_1, i_2, \dots, i_p}) = (b_{c, s, m})$, where $m = (m_1, m_2, \dots, m_\nu)$ is a multiindex, $\lambda + \mu + \nu = p$, then the matrix $D = (d_{l, s, m})$ is called a (λ, μ) -folded product of the matrices A and B , if its elements are defined by the expression

$$d_{l, s, m} = \sum_c a_{l, s, c} b_{c, s, m}.$$

The (λ, μ) -folded product of the matrices A and B is denoted ${}^{\lambda, \mu}(AB)$. Thus,

$$D = {}^{\lambda, \mu}(AB) = \left(\sum_c a_{l,s,c} b_{c,s,m} \right) = (d_{l,s,m}).$$

In the case of the $(0, 0)$ -folded product we often omit the left upper indices and write AB instead of ${}^{0,0}(AB)$ and write A^k instead of ${}^{0,0}A^k$.

The matrix $E(\lambda, \mu)$ is called the (λ, μ) -identity matrix if the equalities

$${}^{\lambda, \mu}(AE(\lambda, \mu)) = {}^{\lambda, \mu}(E(\lambda, \mu)A) = A$$

are satisfied for any multidimensional matrix A . The matrix $E(\lambda, \mu)$ is $(\lambda + 2\mu)$ -dimensional matrix whose elements are defined by the formula

$$E(\lambda, \mu) = (e_{c,s,m}) = \begin{pmatrix} 1, & c = m \\ 0, & c \neq m \end{pmatrix}.$$

II. MULTIDIMENSIONAL-MATRIX REPRESENTATION OF TENSOR

It is convenient to express a second order tensor $a_{i,j}$ in form of a matrix $a = (a_{i,j}), i, j = 1, 2, \dots, n$ [6]. If we introduce the matrix $\alpha = (\alpha_{i,j})$ of the transition from the initial basis e_i to the new basis e'_i then the definition of the second order tensor (2) takes the form

$$\bar{a} = \alpha a \alpha^T. \quad (3)$$

The matrix representation is more convenient for the visual perception and computer calculations since the matrix algebra is very good represented in all programming systems.

It is noted in [6] that the matrix notation fails for tensors of higher order. However, this statement is refuted below. We give below the generalization of the expression (3) for the arbitrary order tensor based on the notion of the multidimensional matrix. We turn for this to the tensor definition (2) and introduce the two-dimensional matrix

$$\beta = (\beta_{j,i}), \quad \beta_{j,i} = \alpha_j^i, \quad (4)$$

of the transition from the initial basis e_i to the new basis e'_j and the r -dimensional matrices $a = (a_{i_1, \dots, i_r}), \bar{a} = (\bar{a}_{j_1, \dots, j_r})$ combined from the elements of the tensors a_{i_1, \dots, i_r} and $\bar{a}_{j_1, \dots, j_r}$.

Theorem 1. The tensor definition (2) has the following multidimensional-matrix representation:

$$\bar{a} = {}^{0,r}(\bar{\beta}a), \quad (5)$$

where

$$\bar{\beta} = (\beta^r)^{T_{2r}}, \quad (6)$$

β is the matrix (4), T_{2r} is the following transpose substitution

$$T_{2r} = \begin{pmatrix} 1, & 2, & 3, & \dots, & 2r-1, & 2r \\ 1, & 3, & 5, & \dots, & 2r-2, & 2r \end{pmatrix}.$$

The known expression (3) is the particular case of the expression (5) provided $r = 2$. We can

write the following expression instead of (3):

$$\bar{a} = {}^{0,r}((\beta^2)^{T_4}a).$$

Theorem 2. If $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_n)$ be a random vector in Euclidean space then the elements ν_{r,i_1, \dots, i_r} of the initial moment of the order r $\nu_r = E(\xi^r) = (\nu_{r,i_1, \dots, i_r})$ [3] are the components of the order r tensor.

Theorem 3. If the transition matrix $\beta = (\beta_{j,i})$ (4) from the basis e_i to the basis e'_j is orthogonal then the $2r$ -dimensional matrix $\bar{\beta}$ (6) is orthogonal as well, i.e. it satisfies the following expression [7]:

$${}^{0,r}(\bar{\beta}\bar{\beta}^{B_{2r,r}}) = {}^{0,r}(\bar{\beta}^{B_{2r,r}}\bar{\beta}) = E(0, r),$$

where $E(0, r)$ is the $(0, r)$ -identity matrix [2,3] and $B_{2r,r}$ is the transpose substitution of the type "onward" [3].

III. CONCLUSION

Thus, the article asserts the illegality of using a tensor as a multidimensional matrix. The use of the term tensor without taking into account its properties is unacceptable. Besides, the multidimensional-matrix notation has brightener possibility compared with the tensor analysis and can be used in tensor analysis. Particularly, the multidimensional-matrix representation of the arbitrary order tensor is received in this article. This representation is the generalization of the known matrix representation of the second order tensor. It is showed that the elements of the multidimensional matrix of the initial moments of the random vector are the components of the tensor of the respective order. The theorem on the orthogonality of the transformation matrix of the arbitrary order tensor is proved. The received results open the path to generalization the notion tensor to the multidimensional spaces.

IV. REFERENCES

1. Mukha V.S., Kako N.F. Model-based optimization of the regression objects // Information Technologies and Systems 2021 (ITS 2021). Proceeding of the International Conference (BSUIR, Minsk, Belarus, 24th November 2021). – Pp. 234–235.
2. Sokolov N.P. Introduction to the Theory of Multidimensional Matrices. Kiev, Naukova dumka, 1972. 176 p. In Russian.
3. Mukha V.S. Analysis of Multidimensional Data. Minsk, Technoprint, 2004. 368 p. In Russian.
4. Cichocki A., Lee N., Oseledets I., Phan A.-H., Zhao Q. and Mandic D.P. (2016). Tensor Networks for Dimensionality Reduction and Large-scale Optimization: Part 1. Low-Rank Tensor Decompositions. Foundations and Trends in Machine Learning: Vol. 9: No. 4–5, pp. 249–429.
5. Ilyin V.A., Poznyak E.G. Linear algebra. Moscow.: Nauka, 1974. 296 p. In Russian.
6. Young, Eutiquio C. [1992] Vector and Tensor Analysis / Eutiquio C. Young – 2nd ed., rev. and expanded. – Marcel Dekker, Inc. – 511 p.
7. Mukha V.S. Multidimensional-matrix principal components method // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physics and Mathematics series, 2013, no. 3, pp. 31–37. In Russian.

АЛГОРИТМЫ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Саркисян Э. Л.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: evelina.sarkisyan.1990@mail.ru

Рассматриваются методы оптимизации веб приложений. Предлагается улучшение существующего подхода для ускорения работы приложения.

ВВЕДЕНИЕ

Управление производительностью приложений является мощным инструментом повышения качества работы бизнес-приложений. Поэтому разработчики программного обеспечения уделяют этому вопросу все больше внимания. Оптимизация — это процесс модификации программной системы с целью повышения эффективности ее работы или использования меньшего количества ресурсов.

Архитектурный дизайн системы оказывает особенно сильное влияние на ее производительность. Выбор алгоритма влияет на эффективность больше, чем любой другой элемент дизайна. Более сложные алгоритмы и структуры данных могут хорошо оперировать большим количеством элементов, в то время как простые алгоритмы подходят для небольших объёмов данных [1]. Для оптимизации требуется найти узкое место: критическую часть кода, которая является основным потребителем необходимого ресурса. Утечка ресурсов также может привести к падению скорости выполнения программы.

В работе рассмотрены методы улучшения производительности приложений за счёт внедрения асинхронности и событийно-ориентированного программирования, а также предложен способ оптимизации алгоритма обработки сообщений для сокращения общего времени выполнения.

1. ПРИМЕНЕНИЕ АСИНХРОННОСТИ В ПРИЛОЖЕНИИ

Синхронные процессы, как и программы, писать и отлаживать намного проще, поэтому такой подход к конструированию процесса очень сильно распространен. Однако синхронные решения приводят к сбою пользовательского интерфейса, плохой масштабируемости и расширяемости. В синхронном коде каждая операция ожидает окончания предыдущей. Все действия выполняются строго последовательно, в том порядке, в котором они записаны в исходном коде программы. Поэтому вся программа может зависнуть, если одна из команд выполняется очень долго. На рисунке 1 изображено сравнение синхронного и асинхронного механизмов.

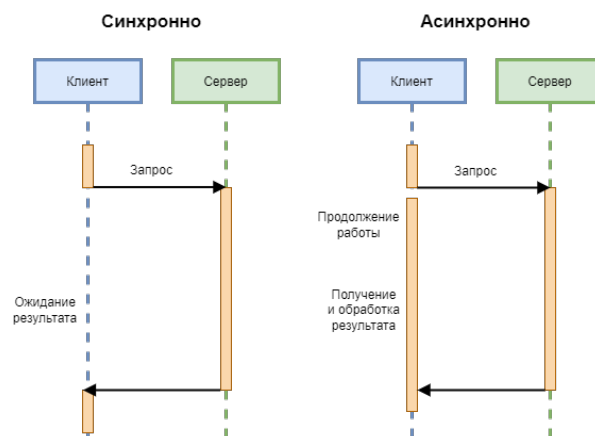


Рис. 1 – Синхронный и асинхронный механизмы клиент-серверного взаимодействия

Асинхронный код делает возможным выполнение процесса в неблокирующем режиме системного вызова, что позволяет потоку программы продолжить обработку. Таким образом, главный «процесс» ставит задачу и передает ее другому независимому «процессу». Использование кода асинхронного программирования позволяет освободить поток выполнения, из которого он был запущен, что приводит к экономии ресурсов, а также предоставляет возможность параллельных вычислений. Асинхронность при передаче данных обеспечивает систему двумя важными свойствами:

- Эластичность - способность масштабироваться горизонтально;
- Устойчивость - способность справиться с отказом и восстановить систему.

Благодаря этим двум характеристикам система становится отзывчивой. Она может адаптироваться к высоким или низким нагрузкам и продолжать обслуживать запросы в условиях высоких нагрузок или отказов. Этот набор принципов имеет первостепенное значение при построении высоко распределенных систем. Необходимо запускать несколько экземпляров сервисов, чтобы сбалансировать нагрузку и справиться с неисправностями без нарушения доступности.

Взаимодействие сообщений позволяет компонентам справляться с отказом локально. Благодаря асинхронному аспекту компоненты не

ожидают ответов, поэтому сбой в одном компоненте не повлияет на другие компоненты [2].

II. СОБЫТИЙНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМ ЕГО ОПТИМИЗАЦИИ

В отличие от систем «запрос-ответ», в событийно-ориентированной архитектуре отправляющая сторона передаёт «событие», содержащее полезные данные, в брокер сообщений, после чего сообщение рассылается всем сервисам, подписанным на топик.

Программирование, управляемое событиями, — это шаблон архитектурного проектирования для создания программного приложения, в котором компоненты среды выполнения создают события и реагируют на них определенным образом. Подобный механизм гарантирует, что сообщения никогда не будут потеряны. Они будут поставлены в очередь для доставки, как только потребитель будет готов к их получению.

На рисунке 2 представлена схема, состоящая из одного отправителя, брокера сообщений и трёх получателей, один из которых не получает сообщения, так как подписан на другой топик.

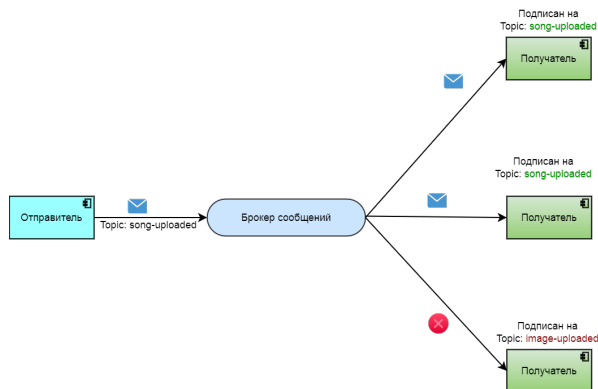


Рис. 2 – Схема событийно-ориентированного программирования

Одним из недостатков использования архитектуры «запрос-ответ» является наличие так называемой единой точки отказа. Если сервис выходит из строя хотя бы на какое-то время, то весь рабочий поток может быть нарушен. Кроме того, при необходимости отправить запрос одновременно нескольким получателям, каждая операция должна выполняться отдельно, что может значительно задерживать основной поток от продолжения работы.

Здесь событийно-ориентированная архитектура наиболее ярко проявляет свое преимущество. Это связано с тем, что слои распределения могут иметь несколько серверов, выделенных для хранения сообщений, и могут горизонтально масштабироваться по мере необходимости. И затем, даже если одна из систем выйдет из строя, другие сервера смогут перехватывать и ретранслировать сообщения [3].

Архитектура, управляемая событиями, сочетает в себе идентификацию шаблонов данных с автоматическими оповещениями и уведомлениями нужных сервисов. Это позволяет предприятиям принимать оперативные решения в режиме реального времени.

С помощью механизма постановки в очередь сообщения могут быть сохранены, в случае отключения сервиса-потребителя, и вновь отправлены, как только потребитель снова начинает прослушивать сообщения. Необработанные сообщения или те сообщения, которые привели к ошибке, помещаются в отдельную очередь «безуспешных сообщений» с целью последующего извлечения и исследования.

Однако такой подход перестает быть эффективным для более сложных систем, где количество сообщений в брокере может стать чрезмерно большим, особенно при временной недоступности обработчика.

Анализируя данную проблему, можно прийти к выводу, что причиной является обработка всего одного сообщения за раз. При невысокой нагрузке на систему такой подход не имеет недостатков, однако для обеспечения надёжности системы требуется оптимизация.

Для достижения данной цели мной была предложена реализация многопоточного алгоритма для потребления и обработки сообщений из брокера. Таким образом, имея всего один экземпляр обработчика, можно достичь более высокой эффективности. Данный оптимизированный алгоритм также способен динамически регулировать количество запущенных потоков в зависимости от нагрузки. Таким образом, ресурсы системы могут быть оптимально использованы.

III. ВЫВОДЫ

Асинхронное программирование является очень мощным инструментом для оптимизации высоконагруженных программ с частым ожиданием системы. Благодаря инновационным инструментам событийно-ориентированные архитектуры становятся более гибкими, универсальными и надёжными, что удовлетворяет множество актуальных бизнес-запросов.

В результате работы был разработан алгоритм для эффективного межсервисного взаимодействия. Применение рассмотренных архитектур поможет оптимизировать веб-приложение и в разы сократить время ожидания.

1. Эванс Бенджамин, Гоф Джеймс, Ньюланд Крис. Java, оптимизация программ, практические методы повышения производительности приложений в JVM. - 2019. - с.448
2. Clement Escoffier. Building Reactive Microservices in Java. - 2017. - с.83
3. Ben Stopford. Designing Event-Driven Systems. - 2018. - с.166

РЕКОНСТРУКЦИЯ 3D-МОДЕЛИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ DUAL CONTOURING НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ КТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

Семенченя Т. С., Курочка К. С.

Кафедра информационных технологий, Гомельский государственный технический университет имени

П. О. Сухого

Гомель, Республика Беларусь

E-mail: levts@gstu.by

В данной работе рассматривается алгоритм разбиения поверхности на ячейки Dual contouring. В статье описывается результат реконструкции 3D-модели поясничного отдела позвоночника человека методом Dual contouring на основе анализа цифровых КТ-изображений, а также необходимость в его разработке.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время патологии позвоночника встречаются практически у каждого человека. Ежедневно позвоночник подвержен большим нагрузкам.

Большая часть нагрузок приходится на поясничный отдел. Возникающие патологии можно диагностировать с помощью рентгенологического исследования, магнитно-резонансной и компьютерной томографии. Медикаментозное лечение не всегда является эффективным и требуется хирургическое вмешательство. Для определения метода лечения и выбора необходимого инструментария для проведения операции врач руководствуется своими знаниями и накопленным опытом. Однако иногда возникают спорные ситуации, когда нельзя сразу однозначно определить метод лечения. Для выбора наиболее эффективного хирургического лечения и минимизации случаев постоперационных осложнений необходимо исследовать свойства указанного отдела позвоночника.

Первым этапом исследования необходимо выполнить восстановление трехмерной геометрической модели выделенного сегмента позвоночника, пригодной для дальнейших расчетов.

Для восстановления 3D-модели поясничного отдела позвоночника человека были использованы цифровые КТ-изображения позвоночника. Изображения, получаемые при помощи компьютерной томографии поясничного отдела позвоночника человека, являются послойными срезами с заданным шагом и позволяют с достаточной точностью построить трехмерную модель сегмента позвоночника [1].

РЕКОНСТРУКЦИЯ 3D-МОДЕЛИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ DUAL CONTOURING

Для трехмерной реконструкции поясничного отдела позвоночника человека был выбран алгоритм разбиения поверхности на ячейки Dual Contouring [2].

Dual Contouring помещает в каждую ячейку по одной вершине, а затем «соединяет точки», чтобы сформировать полную сетку. Алгоритм находит каждое ребро со сменой знака и соединяет вершины ячеек, соседних с этим ребром.

Чтобы использовать алгоритм Dual Contouring, нужно знать не только значение $f(x)$, но и градиент $f'(x)$. То есть для каждого ребра необходимо вычислить точку пересечения направления нормали в этой точке [3].

Градиент функции f – это мера того, насколько быстро значение f изменяется в данной точке при движении в любом заданном направлении. Обычно она задается в виде пары чисел для каждой точки, указывающих, насколько функция изменяется при перемещении по оси x или оси y .

Также необходимо оценить $f(x)$ в каждом узле ячейки сетки и понять, где граница пересекает каждое ребро, т.е. места, которые будут потом выбраны в качестве вершин. Требуется учесть информацию о градиенте $f'(x)$ для этих точек. Вершины двойного контура будут размещены в точке внутри ячейки, которая наиболее соответствует этим градиентам (см. рис. 1).

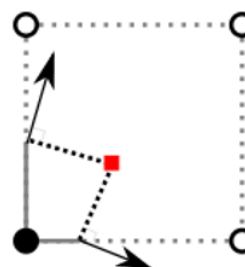


Рис. 1 – Аппроксимация нормалей для нахождения вершин контура

Выбирая указанную точку, алгоритм гарантирует, что выходные грани этой ячейки максимально соответствуют нормальям (см. рис. 2).

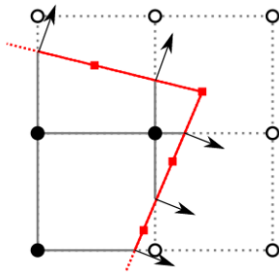


Рис. 2 – Согласование нормалей вокруг ячейки для построения сетки поверхности и выбора вершин

На практике не все нормали вокруг ячейки согласуются. Нам нужно выбрать точку наилучшего соответствия.

Одна из основных проблем, заключается в том, как выбрать местоположение точки, когда нормали не указывают на постоянное местоположение. В случае с 3D ситуация ухудшается, так как нормалей становится еще больше (см. рис. 3).

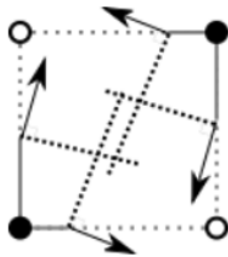


Рис. 3 – Конфликт выбора точки вершины, ввиду несогласования нормалей

Способ решить эту проблему состоит в том, чтобы выбрать точку, которая является оптимальной для всех нормалей.

Для каждой нормали назначается штраф местам, далеким от идеального. Затем мы суммируем все штрафные функции, что дает штраф в форме эллипса. После этого выбираем точку с наименьшим штрафом. Работа штрафных функций представлена на рисунке (см. рис. 4).

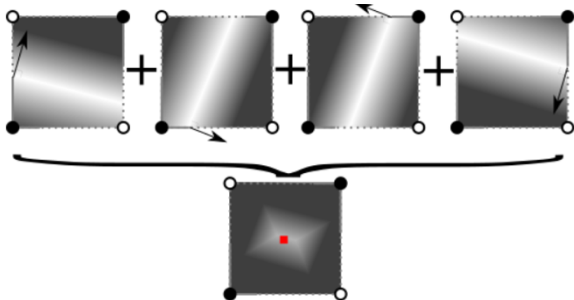


Рис. 4 – Работа штрафных функций и выбор точки с наименьшим штрафом

Математически отдельные штрафные функции представляют собой квадрат расстояния от идеальной линии для этой нормали. Сумма всех этих квадратов представляет собой квадратичную функцию, поэтому функция полного штрафа называется QEF (квадратичная функция ошибок).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выполнения данной работы был разработан программный комплекс для построения 3D модели поясничного отдела позвоночника человека методом Dual Contouring на основе анализа цифровых КТ-изображений. Dual Contouring является одним из наиболее распространенных методов извлечения изоповерхности, позволяющим генерировать качественные полигональные сетки с восстановлением острых углов и ребер.

На рисунке 5 представлен результат визуализации геометрической 3D модели поясничного отдела позвоночника человека.



Рис. 5 – Работа штрафных функций и выбор точки с наименьшим штрафом

Разработанная 3D модель позволит получить новые знания свойств поясничного отдела позвоночника, моделировать новые инструменты для хирургического лечения и прогнозировать результаты их применения [4]. Реконструированная 3D модель поясничного отдела позвоночника человека может использоваться для обучения студентов медицинских специальностей.

1. Панарин, К. А. Локализация позвонков на КТ-изображениях в условиях ограниченности вычислительных ресурсов / К. А. Панарин, К. С. Курочка // Новые горизонты – 2021: сборник материалов VIII Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума, 11 – 12 ноября 2021 года / Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2021. – Т. 1. – С. 177 – 179.
2. Ju, T. Dual Contouring of Hermite Data / T. Ju, F. Losasso, S. Schaefer, J. Warren // ACM Transactions on Graphics, Vol. 21, Iss. 3. – 2002. – P. 339–346.
3. Wenger, R. Isosurfaces: Geometry, Topology, and Algorithms / R. Wenger, A. K. Peters. – CRC Press, 2013. – 488 p.
4. Курочка, К. С. Construction of an individual geometric 3D model of the lumbar spine of a person based on the analysis of medical images / К. С. Курочка, Т. С. Семенченя // Сборник научных трудов «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем», 19 – 22 февраля 2020 г. – Минск: БГУИР, 2020. – с. 291 – 297.

ПРОГРАММНЫЙ МЕНЕДЖЕР РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СРЕДЕ

Северин К. М., Парамонов А. И.

кафедра программного обеспечения информационных технологий, кафедра информационных систем и технологий Института информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

E-mail: severin.klim@yandex.by, a.paramonov@bsuir.by

Рассмотрена проблема балансировки нагрузки или выравнивания нагрузки в вычислительной сети. Выполнен обзор существующих методов балансировки задач. Описана реализация менеджера распределенных вычислений на основе алгоритма Round Robin. Выполнен проект мультиагентной среды для организации распределенных вычислений без простоев.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с большей доступностью и широким применением вычислительных систем становится актуальной проблема их эффективного использования. Одним из аспектов данной проблемы является эффективное распределение задач внутри распределенных серверов внутри вычислительных систем с целью сокращения общего времени вычисления. В этой связи при организации компьютерных сетей и систем возникают потребности в балансировке нагрузки или выравнивании нагрузки. Суть метода состоит в распределении заданий между несколькими сетевыми устройствами с целью оптимизации использования ресурсов вычислительного кластера, сокращения времени обслуживания запросов, горизонтального масштабирования кластера, а также обеспечения отказоустойчивости.

В работе рассматривается проблема балансировки нагрузки на прикладном уровне и предлагается прикладное решение задачи распределения вычислений в мультиагентной среде. Для этого реализован программный менеджер, который распределяет поток запросов на вычисления по сети агентов. Менеджер должен обеспечивать следующие возможности:

- поддерживать подключение с несколькими агентами;
- распределять полученные задачи согласно выбранному алгоритму;
- корректно обрабатывать ситуации при отсутствии связи с агентом или клиентом (не заканчивать критически свою работу при неработающем агенте или при неработающем клиенте);
- гарантированное выполнение принятой задачи от клиента.

I. СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ БАЛАНСИРОВКИ

На сегодня существует множество алгоритмов планирования, которые используются балансировщиками нагрузки для определения «какому исполнителю послать запрос», и каждый из

них имеет свои особенности. В числе широко используемых: Round Robin, Least Connections, Destination Hash Scheduling, Sticky Sessions и их модификации [1].

Round Robin, или алгоритм кругового обслуживания, представляет собой перебор по круговому циклу: первый запрос передается одному серверу, затем следующий запрос передается другому и так до достижения последнего сервера, а затем всё начинается сначала. Weighted Round Robin – усовершенствованная версия алгоритма Round Robin. Суть усовершенствований заключается в следующем: каждому серверу присваивается весовой коэффициент в соответствии с его производительностью и мощностью. Это помогает распределять нагрузку более гибко: серверы с большим весом обрабатывают больше запросов.

При распределении запросов по алгоритму Least Connections, каждый следующий запрос передается серверу с наименьшим количеством активных подключений. Weighted Least Connections – усовершенствованная версия Least Connections. Этот алгоритм учитывает при распределении нагрузки не только количество активных подключений, но и весовой коэффициент серверов. Locality-Based Least Connection Scheduling был создан специально для кэширующих прокси-серверов. В алгоритме Locality-Based Least Connection Scheduling with Replication Scheduling каждый IP-адрес или группа IP-адресов закрепляется не за отдельным сервером, а за целой группой серверов (кластерами).

Алгоритм Destination Hash Scheduling был создан для работы с кластером кэширующих прокси-серверов, но он часто используется и в других случаях. В этом алгоритме сервер, обрабатывающий запрос, выбирается из статической таблицы по IP-адресу получателя.

Sticky Sessions – алгоритм распределения входящих запросов, при котором соединения передаются на один и тот же сервер группы. Сессии пользователя могут быть закреплены за кон-

кретным сервером с помощью метода IP hash. С помощью этого метода запросы распределяются по серверам на основе IP-адреса клиента.

II. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ В МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СРЕДЕ

В программной реализации менеджера в качестве базового алгоритма балансировки задач используется модифицированный алгоритм Round Robin.

Разработанный программный комплекс реализован на .Net платформе, с использованием встроенных коллекций: SortedSet – для хранения задач в отсортированном виде по времени, Dictionary – для хранения пары (Id задачи, Сокет клиента) и последующей отправки клиенту задачи по окончании ее выполнения. Для работы с JSON использовался pugnet из пакета System.Text.Json. Для работы с сетевыми функциями использовался класс System.Net.Sockets.Socket.

Алгоритм работы менеджера мультиагентной вычислительной среды таков:

Первым в сети запускается менеджер, который слушает указанные в аргументах командной строки портах входящие соединения от агентов и клиентом. Общение в сети происходит по собственному протоколу поверх TCP. Сам протокол состоит из двух полей: размер JSON данных и сами данные. JSON данные описывают задачу на разных этапах ее жизни и включают в себя максимум 6 полей: id – уникальный идентификатор задачи (устанавливается балансировщиком), time – время получения задачи (устанавливается балансировщиком), command – команда, которую необходимо выполнить (отправляется клиентом), arguments – аргументы к команде (отправляется клиентом), exitcode – код возврата (устанавливается агентом), result – программный вывод (устанавливается агентом). Такой протокол общения позволяет передавать только необходимые данные и не нагружать сеть. В качестве протокола транспортного уровня используется TCP, что гарантирует целостность передаваемых данных и уведомление отправителя о результатах передачи [2].

Получив задачу от клиента, менеджер добавляет ее в глобальную приоритетную очередь нераспределенных задач. Приоритетом в данной очереди является время получения задачи. Далее в отдельном потоке эти задачи распределяются между подключенными агентами согласно алгоритму балансировки и добавляются в очереди активных задач агентов. На стороне агента присутствует также очередь задач на выполнение. Агент выполняет задачи в отдельном процессе и контролирует ее выполнение. Далее агент отправляет результат выполнения обратно менеджеру, который в свою очередь отправляет результат клиенту.

Однако следует отметить, что по причине потери связи с агентом задача может быть не выполнена. Потеря связи может произойти в силу таких причин как: отключение сетевого оборудования, используемого для связи с агентом, аварийное завершение агента из-за отключения питания компьютера и др. Для детектирования наличия соединения с агентом менеджер один раз в 5 секунд отправляет «пустую» задачу, ответ на которую агент должен выслать сразу же. Если ответ не поступил или соединение было прервано менеджер перемещает все активные задачи из очереди «проблемного» агента в глобальную очередь нераспределенных задач.

В ходе тестирования разработанного программного комплекса была подтверждена стабильная работа менеджера и гарантированное выполнение всех поставленных задач. Вместе с тем, в ходе тестирования был выявлен один из недостатков реализованного алгоритма балансировки: при распределении не учитывается различия в сложности обрабатываемых агентами задач, а также различия в мощности самих агентов. Таким образом при определенных условиях наблюдается простой одних агентов и загруженность других агентов. Эта проблема предполагает внедрение дополнительного мониторинга ресурсов в вычислительной сети.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенное решение может применяться в различных системах распределенного выполнения задач, таких как обработка серверных запросов, компьютерные, создание сложных математических моделей. Одной из актуальных областей применения предложенного подхода является балансировка нагрузки при организации дистанционного образования, в частности проведение большого числа одновременных высоконагруженных видеоконференций [3]. Рассмотренная проблемная область в ходе эксперимента показала, что важным аспектом достижения высокой производительности при распределенных вычислениях можно достичь не только путем масштабирования вычислительного кластера, но и за счет рационального использования возможностей его агентов.

1. RHEL5: Linux Virtual Server (LVS) / Red Hat, Inc. [Электронный ресурс] – режим доступа: https://web.mit.edu/rhel-doc/5/RHEL-5-manual/Virtual_Server_Administration/s2-lvs-sched-VSA.html. - Дата доступа: 14.10.2022.
2. Программная спецификация протокола DARPA INTERNET [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://rfc.com.ru/rfc793.htm>
3. Markov, A. Parameters of load testing models: approaches to estimation / A. Markov, A. Paramonov // Nano-Desing, Tehnology, Computer Simulations (NDTCS-2021) : тезисы докладов XIX Международного симпозиума, Минск, 28–29 октября 2021 года / БГУИР ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2021. – P. 122–123.

АНАЛИЗ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Скиба И. Г., Тарасюк И. С., Нестеренков С. Н.

Отдел информационных технологий, кафедра программного обеспечения информационных технологий,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

E-mail: {i.skiba, i.tarasiuk, s.nesterenkov}@bsuir.by

Основной инструмент для поддержки принятия управленческих решений, направленных на повышение качества обучения в высшем учебном заведении, это технология анализа образовательных данных. Такой анализ пробует извлечь закономерности из данных, производимых в процессе обучения, таких как, например, успеваемость, посещаемость или данных из систем дистанционного образования. Он включает в себя алгоритмы машинного обучения и статистические методы для получения информации об академической успеваемости студентов и прогнозирования дальнейшей динамики на протяжении всего учебного процесса.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие систем электронного обучения и внедрения информационных технологий в образовательный процесс привело к возникновению больших объемов данных. Главная цель анализа образовательных данных (АОД) – это повышение качества образования и подготовка качественных специалистов [1]. В процессе анализа и применения образовательных данных выделяют четыре вида пользователей, вовлеченных в процесс анализа образовательных данных:

- Обучающиеся, которые заинтересованы в повышении своего уровня успеваемости, осознанном выборе профессиональной сферы.
- Преподаватели, заинтересованные в разбиении обучающихся на группы, подбора самого оптимального метода обучения, а также в улучшении учебного курса.
- Исследователи, заинтересованные в объективной оценке эффективности учебного процесса, разработке современных методов анализа образовательных данных.
- Администрация вуза, заинтересованная в повышении качества управленческих решений для влияния на учебный процесс, а также наблюдении динамики после проведения соответствующий мероприятий.

I. Цели

Основной целью методов интеллектуального анализа данных является преобразование данных в значимую информацию о процессе обучения и поиск закономерностей для лучшего принятия решений относительно обучения. Процесс применения АОД обычно состоит из пяти следующих этапов (см. рис. 1):

1. Предварительная обработка данных.
2. Выявление закономерностей в данных тем или иным методом data mining.
3. Проверка (валидация) обнаруженных закономерностей.

4. Применение найденных закономерностей для прогнозирования будущих событий в обучающей среде.
5. Использование построенных прогнозов при поддержке принятия решений и выработки образовательной политики.



Рис. 1 – Процесс применения методов АОД

II. МЕТОДЫ ТРАДИЦИОННОГО DATA MINING

Для обеспечения высокого качества анализа больших массивов образовательных данных нужно применять соответствующие аналитические инструменты, в том числе эффективные алгоритмы, способные выявить основные зако-

номерности в созданных массивах. В АОД широко используются методы традиционного Data mining, основными из которых являются: классификация, кластеризация, поиск связующих правил, поиск последовательных шаблонов, а также интеллектуальный анализ текстов. Все эти методы можно разделить на три большие группы.

III. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Цель прогнозирования заключается в том, чтобы разработать модель, которая будет предсказывать значение интересующей величины по значениям, которые приобретают независимые переменные. Прогнозирование успеваемости — одна из старейших и наиболее популярных задач АОД, для решения которой используются самый широкий спектр методов: нейронные сети; байесовские сети; системы, основанные на правилах; методы регрессионного и корреляционного анализа. Методы регрессионного и корреляционного анализа широко применяются для выявления и описания зависимостей между случайными величинами по экспериментальным данным и основываются на теории вероятности и математической статистике [2].

IV. ОБНАРУЖЕНИЕ СТРУКТУРЫ

Алгоритмы обнаружения структуры пытаются выявить в данных структуру, без использования каких-либо заведомо известных представлений о ней. Наиболее известной группой подобных алгоритмов являются алгоритмы кластеризации. Кластеризация является логическим продолжением идеи классификации. Особенность ее состоит в том, что классы объектов изначально не предопределены, тогда как при классификации прежде чем перейти к созданию модели необходимо разметить некоторое подмножество данных. Результатом кластеризации является разбиение множества объектов на группы (кластеры) близких друг к другу по ряду признаков или свойств [3].

V. ВЫЯВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ

Цель выявления взаимоотношений состоит в том, чтобы установить некоторые взаимосвязи между переменными в множестве данных с большим числом переменных. Например, можно попытаться определить, какие переменные сильнее всего связаны с интересующей или в какой из пар связанных переменных связь сильнее, чем в других. Выявление взаимоотношений в АОД чаще всего используется в форме поиска связующих правил или поиска последовательных шаблонов [4].

VI. ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ

Для исследования данных можно использовать данные внутренних информационных систем и систем дистанционного обучения. В част-

ности, можно использовать такие данные внутренних систем, как посещаемость, успеваемость, данные о распределении и другие доступные данные, позволяющие исследовать отношение студента к образовательному процессу. Например, в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники на данный момент активно используется интегрированная информационная система «БГУИР: Университет», в которой есть возможность выставления оценок и ведение учета посещаемости[5].

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы обработки больших данных используются для управления высшим учебным заведением [6]. Образовательная среда, которая использует методы АОД, позволит адаптировать изучаемый курс для студентов под их возможности. Преподавателям АОД дает возможность получить информацию, которая позволит улучшить содержание курса, настроить процесс обучения для каждого учащегося. Так, на основе данных о качестве и количестве ошибок, которые совершают студенты, выявляют причины возникновения данных ошибок и вносят изменения в курс. Это позволяет администрации оценить эффективность результатов обучения, а также разработать комплекс решений для повышения уровня образовательного процесса за счет использования имеющихся ресурсов.

VIII. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубоч, Г. Г. Использование анализа данных в образовании / Г. Г. Трубоч // 77-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета. — Минск, 2020. — С. 119-122.
2. Дополнительные главы математики. Статистический анализ / Н. И. Кривцова, О. Е. Мойзес // Томск: Изд-во Томского политехнического университета. — 2015.
3. Баранников, К. А. Методология анализа больших данных в образовании (системно-методологический подход, основанный на анализе образовательных данных, поиска стратегии принятия управленческих и организационно-педагогических решений в образовании) / К. А. Баранников, С. М. Лесин // Народное образование. — 2020. — №. 2 (1479). — С. 81-90.
4. Белоношко П. П. Анализ образовательных данных: направления и перспективы применения / П. П. Белоношко, А. П. Карпенко, Д. А. Храмов // Вестник евразийской науки. — 2017. — Т. 9. — №. 4 (41). — С. 57.
5. Нестеренков, С. Н. Интегрированная информационная система как средство автоматизации управления образовательным процессом в учреждениях высшего образования / С. Н. Нестеренков, Т. А. Рак, О. О. Шатилова // Информационные технологии и системы 2017 (ИТС 2017) = Information Technologies and Systems 2017 (ITS 2017) : материалы междунар. науч. конф. (Республика Беларусь, Минск, 25 октября 2017 года) — Минск : БГУИР, 2017. — С. 212.
6. Нестеренков, С. Н. Применение больших данных в электронном образовании. / С. Н. Нестеренков, М. И. Макаров, Н. В. Ющенко, А. Д. Радкевич // Пятая Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня», — Минск, 2019.

SMALL OBJECT DETECTION METHOD

Tang Yi, Gourinovitch.A.

KDepartment of Information Technologies in Automated Systems,
Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: tangyijcb@163.com, gurinovich@bsuir.by

In computer vision, significant advances have been made on object detection with the rapid development of deep convolutional neural networks (CNN). When it comes to small object, the accuracy of deep learning methods is low. This paper mainly introduces the difficulties in small object detection and proposes two methods to enhance feature representation of small objects.

I. INTRODUCTION

Small object detection is a fundamental computer technology related to image understanding and computer vision that deals with detecting instances of small objects of a certain class in digital images and videos.

There are mainly two definitions of small objects. One refers to objects with smaller physical sizes in the real world. Another definition of small objects is mentioned in MS-COCO metric evaluation. Objects occupying areas less than and equal to 32×32 pixels come under “small objects” category.

Small object detection has been widely used in academia and real world applications, such as robot vision, autonomous driving, intelligent transportation, drone scene analysis, military reconnaissance and surveillance[1].

II. DIFFICULTIES AND CHALLENGES

Small object detection has long been a difficult problem in object detection. It aims to accurately detect small objects with few visible features in the image. Relative to regular-sized objects, small objects often lack sufficient appearance information, making it difficult to distinguish them from background or similar objects[2].

There are three difficulties in small object detection. First, small objects lack appearance information needed to distinguish them from background or similar categories. Then the locations of small objects have much more possibilities. That is to say, the precision requirement for accurate localization is higher. Furthermore, the experiences and knowledge of small object detection are very limited because the majority of prior efforts are tuned for the large object detection problem. Besides, the annotations in the existing datasets are not very friendly for small object detection. For example: a large part of the small target annotations in the COCO dataset are hard case annotations. They are not only small, but have varying degrees of occlusion, blur, and incompleteness

Fig.1 below shows an example of the real life small object detection.



Figure 1 – small object detection in real life

III. ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF EXISTING METHOD AND MODEL

Currently in many object detection tasks, in order to detect small objects, the usual method is to divide the image into smaller grids, but this will increase a lot of computation.

Handling feature scale issues is of crucial importance for small object detection. Feature pyramid network(FPN) is one of the main paradigms addressing multi-scale feature learning problem.

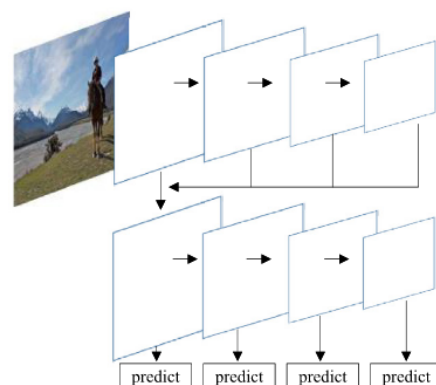


Figure 2 – Feature pyramid network

Above in Fig.2 shows a typical structure for Feature pyramid network(FPN). The improvement in accuracy is very significant, especially for small targets. FPN can be embedded in any network

structure and task as a freely pluggable module, and is widely used in the industry[3].

A large amount of calculation requires a lot of memory: a huge network structure similar to UNET is inserted into the target detection network, which inevitably reduces the speed of the network.

IV. METHOD IMPROVEMENT AND DESCRIPTION

According to the difficulty in small object detection mentioned earlier. This paper proposes to optimize small object detection from two aspects. The first is to optimize the loss function. Take the YOLO loss function as an example: in the process of training and predicting the data set, the part of the loss function (here without λ_{coord}) about the bounding box coordinates is as follows[4]:

$$\sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B \mathbf{1}_{ij}^{obj} [(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2] \quad (1)$$

$$\sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B \mathbf{1}_{ij}^{obj} [(\sqrt{w_i} - \sqrt{\hat{w}_i})^2 + (\sqrt{h_i} - \sqrt{\hat{h}_i})^2] \quad (2)$$

In the YOLO1-3 series, when performing bounding box regression, the MSE (Mean Square Error) loss function is set directly according to the center point coordinates and width and height information of the predicted box and the real box. Here, the difference between the width and height of large objects is larger than the difference value detected by small objects, which will cause the loss function to be more inclined to correct the coordinate position of large objects rather than the position of small objects.

To directly estimate the coordinate values of each point of the BBox(Bounding Box) is to treat these points as independent variables, but in fact does not consider the integrity of the object itself. Therefore, it is proposed to use IOU (Intersection over union) as part of the loss function.

$$L_{IOU} = 1 - IOU(A, B) \quad (3)$$

Below in Fig.3 shows how to calculate the IOU value of ground truth box and predicted box.

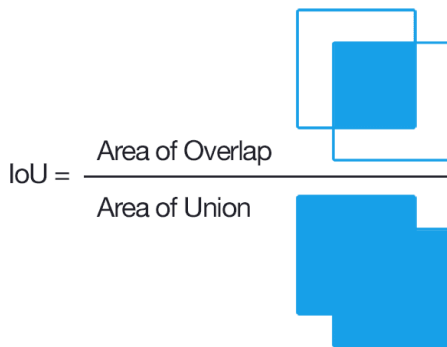


Figure 3 – Intersection over union

In addition to increasing the loss weight for small object detection by optimizing the loss function, the GAN network can also be used to enhance the data[5].

Generative adversarial learning methods aim to achieve the same detection performance as larger-sized objects by mapping the features of low-resolution small objects into features equivalent to those of high-resolution objects. Although the FPN methods mentioned above can effectively improve the performance of small target detection, the performance gains brought by these methods are often limited by the computational cost. Therefore, an effective method is proposed to improve the resolution of small targets by combining Generative adversarial network (GAN), reduce the feature difference between small targets and large/medium-scale targets, and enhance the feature expression of small targets. In turn, the performance of small target detection is improved.

V. CONCLUSION

In the target detection under computer vision, compared with the detection of large objects, small objects are difficult to detect because of their small physical area and contain fewer pixels.

This paper proposes two methods. The first method is to modify the loss function to enhance the loss weight of small object detection; the other method is to use a GAN network to map the resolution of small object detection. Enter high-resolution objects. The ultimate goal of both methods is to enhance the feature representation of small objects, thereby improving detection accuracy and performance.

VI. REFERENCES

1. Zou Z, Shi Z, Guo Y, et al. Object detection in 20 years: A survey[J]. arXiv preprint arXiv:1905.05055, 2019.
2. Tong K, Wu Y, Zhou F. Recent advances in small object detection based on deep learning: A review[J]. Image and Vision Computing, 2020, 97: 103910.
3. Gong Y, Yu X, Ding Y, et al. Effective fusion factor in FPN for tiny object detection[C]//Proceedings of the IEEE/CVF winter conference on applications of computer vision. 2021: 1160-1168.
4. Redmon J, Divvala S, Girshick R, et al. You only look once: Unified, real-time object detection[C]//Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016: 779-788.
5. Cubuk E D, Zoph B, Shlens J, et al. Randaugment: Practical automated data augmentation with a reduced search space[C]//Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops. 2020: 702-703.

АНСАМБЛЕВЫЙ МЕТОД В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ АВТОРА ТЕКСТА

Труханович И. А., Парамонов А. И.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий, кафедра информационных систем и технологий Института информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

E-mail: ilya.trukhanovich@gmail.com, a.paramonov@bsuir.by

На текущий момент, в связи с постоянным ростом контента в интернете, область исследования установления автора текста становится важнее с каждым днём. Она заключается в статистическом исследовании лингвистических и вычислительных характеристик текстовых документов, позволяющем установить истинного автора текста. В данной работе описывается обзор различных методов анализа авторства и приводится описание ансамблевого метода, агрегирующего преимущества уже существующих. Также приводятся результаты экспериментов с дальнейшим анализом результатов и потенциальных модификаций, которые могут позволить улучшить имеющийся результат.

ВВЕДЕНИЕ

Рост важности задачи идентификации текста в основном связан с широким использованием мессенджеров, возрастающим значением электронной почты для корпоративной переписки, популярностью блогов и форумов. Пользователи могут оставлять свои сообщения и без регистрации. Сама регистрация часто носит чисто символический характер. Анонимность интернет-сообщений все больше привлекает киберпреступников [1].

Также методы идентификации автора могут быть применены в других областях. Они могут быть использованы в лингвистических исследованиях или для изучения признаков стиля конкретного автора [2] [3].

Для идентификации авторства применяются разные традиционные подходы, которые основаны на методах NLP (nature language processing) для анализа и классификации текста. В качестве основных используются известные модели мешка слов, n-грамм и т.д. Они позволяют преобразовывать тексты необходимым образом для дальнейшего использования в обучении моделей. Также дополнительно перед анализом используются традиционные методы предварительной обработки текста. Однако каждый отдельно известный подход на сегодня не решает в целом задачу идентификации автора в силу ряда ограничений и сложностей применения.

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследуемая задача формулируется следующим образом.

Предположим, что у нас есть наборы текстов T авторов A . Мы знаем авторов некоторых текстов подмножества T , поэтому у нас есть соответствия авторов и текстов в качестве обучающей выборки L . Цель состоит в том, чтобы создать классификатор, который является

функцией, определяющей истинного автора произвольного текста из множества T .

II. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ

На данный момент существует определенное количество различных решений, основанных на методах машинного обучения:

- Линейные классификаторы (логистическая регрессия, наивный байесовский метод и т.д.);
- Нелинейные классификаторы (полиномиальная регрессия, сети радиально базисных функций и т.д.).

Все более становится популярным нейросетевой подход, особенно в последние годы, благодаря различным исследованиям и архитектурным усовершенствованиям. Но все же он требует значительного улучшения из-за низкой точности в разных случаях и значительных затрат ресурсов для выбора архитектуры и обучения [4].

III. АНСАМБЛЕВЫЙ МЕТОД

В работе задачу идентификации автора текста в обозначенной формулировке предлагается решать с помощью ансамблевого метода [5].

Ансамблевый метод подразумевает механизм голосования большинством, в котором каждый отдельный классификатор в обучении ансамбля предсказывает метку класса. Класс с большинством голосов (мода) назначается в качестве результирующей метки:

$$\hat{y} = \text{mode}\{C_1(x), C_2(x), \dots, C_m(x)\}.$$

Ансамблевое обучение обеспечивает лучший результат, чем обычная одиночная модель.

Ансамблевый метод в текущей работе предполагает следующие этапы:

1. Извлечение исходных текстов;
2. Предварительная обработка текстов (удаление служебных слов, стемминг и т.д.);

3. Представление текстов с помощью TF-IDF;
4. Запуск двух классификаторов по отдельности и трёх классификаторов в одном ансамбле;
5. Запуск общего ансамбля из трёх предыдущих компонентов.

Общая схема метода приведена ниже на рисунке 1.

IV. ЭКСПЕРИМЕНТ

Для проведения эксперимента с предложенным методом был отобран набор текстовых документов в виде произвольного пакета статей новостной ленты Reuters. Пакет включал по 8 текстов для каждого из 50 авторов.

В ходе эксперимента выполнялся мониторинг результатов классификаторов, запущенных как поодиночке, так и в составе сформированного ансамбля.

Результаты эксперимента приведены в таблице.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Метод	Точность	Полнота	F1
Линейная регрессия	0.647	0.600	0.579
kNN	0.574	0.530	0.517
Наивный байесовский	0.584	0.560	0.539
Ансамбль (линейная регрессия, kNN, наивный байесовский)	0.647	0.590	0.582
Случайный лес	0.658	0.620	0.605
Градиентный бустинг	0.463	0.430	0.417
Ансамбль (общий)	0.673	0.640	0.618

Можно сделать вывод о том, что результатами голосования в ансамблях стало увеличение качества модели при одних и тех же условиях обучения. Минусом является то, что обучение подобной модели является более затратным.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный метод на основе комбинаций имеющихся классификаторов предлагает увеличение точности предсказаний. Вместе с тем он может быть усовершенствован в дальнейшем в ряде аспектов:

- Перегруппировка комбинаций в ансамблях;
- Добавление новых линейных и нелинейных классификаторов;
- Замена метода голосования в ансамблях.

VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Iqbal, F. Machine Learning for Authorship Attribution and Cyber Forensics / F. Iqbal, M. Debbabi, B. Fung. – New York City : Springer, 2020. – 167 p.
2. Griffin, R. J. Anonymity and Authorship. New Literary History / R. J. Griffin. – The Johns Hopkins University Press. – 1999. – Vol. 30, № 4. – P. 877–895.
3. Types of plagiarism [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.bradford.ac.uk/library/find-outabout/plagiarism/types-of-plagiarism/>. – Date of access: 14.10.2022.
4. Wallace: Author Detection via Recurrent Neural Networks [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cs224d.stanford.edu/reports/YaoLeon.pdf/>. – Date of access: 15.10.2022.
5. A Gentle Introduction to Ensemble Learning Algorithms [Electronic resource]. – Mode of access: <https://machinelearningmastery.com/tour-of-ensemble-learning-algorithms/>. – Date of access: 15.10.2022.

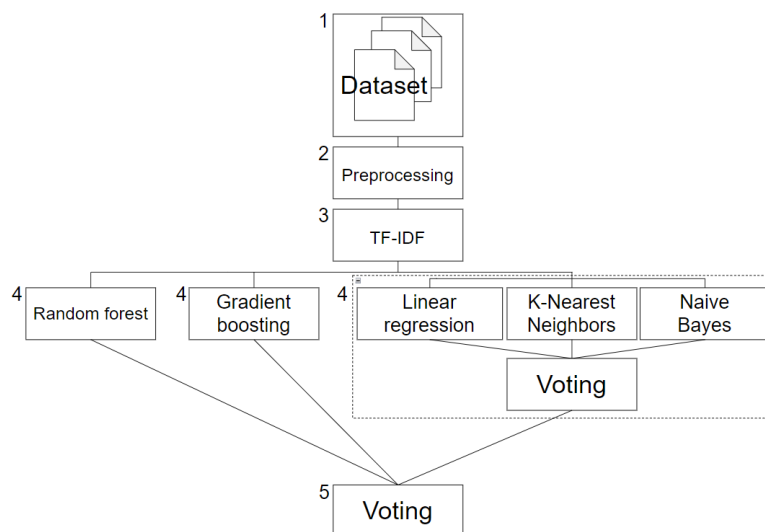


Рис. 1 – Схема ансамбля

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ИЗБЫТОЧНОГО КОДИРОВАНИЯ В СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Урбанович П. П., Плонковски М. Д., Савельева М. Г., Шутько Н. П.

Кафедра информационных систем и технологий,

Белорусский государственный технологический университет

Кафедра прикладной информатики,

Люблинский Католический университет Яна Павла II

Минск, Республика Беларусь; Люблин, Польша

E-mail: {p.urbanovich, saveleva, n.shutko}@belstu.by, marcin.plonkowski@kul.pl

Проанализированы некоторые важные прикладные особенности совместного использования методов помехоустойчивого кодирования данных и стеганографии. Стеганографические преобразования основаны на цветовых моделях RGB и HSL, а также на использовании метода наименее значащих битов (LSB). Комбинация двух видов преобразования позволяет тайно передавать или хранить информацию, а также повышает ее защищенность при конвертациях стеганоcontainers.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время особенно остро встал вопрос о защите электронных документов, которые передаются по сети Интернет. Это обусловлено, в первую очередь, тем, что многие учреждения и компании перешли на удаленный режим работы, основной объем информации (в том числе текстовой) передается онлайн. Один из инструментов решения задачи связан с использованием стеганографии.

Стеганографические алгоритмы позволяют скрывать конфиденциальные сообщения (M) в других сообщениях (контейнерах, C). При этом могут преследоваться две основные цели: тайная передача сообщения и размещение невидимого цифрового водяного знака для защиты авторских прав на контент (контейнер). Злоумышленник должен иметь минимальные возможности для того, чтобы выявить сам факт такого сокрытия и/или извлечь тайное сообщение из стеганоcontainers (контейнера со скрытым сообщением). При этом необходимо обеспечить сохранение целостности осажденной информации при случайных, намеренных или преднамеренных модификациях (конвертациях) стеганоcontainers. Для решения такой комплексной задачи стеганоалгоритмы («чистая стеганография») дополняются средствами избыточного кодирования. Использование избыточного (помехоустойчивого) кодирования размещаемой информации обеспечивает контроль ошибок в этой информации при ее извлечении, а также повышает стойкость стеганоcontainers к атакам [1].

I. ЗАВИСИМОСТЬ ЦЕЛОСТНОСТИ ОСАЖДЕННОЙ В КОНТЕЙНЕР ИНФОРМАЦИИ ОТ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ФОРМАТА ЕГО КОНВЕРТАЦИИ

Если стеганоканал (стеганоcontainers, S) создается на основе электронных документов, то модифицировать можно как отдельные пространственно-цветовые параметры текста,

так и отдельные атрибуты файла-containers [2-4].

В основе многих преобразований лежит цветовая модель RGB и метод наименее значащих битов (LSB). При разработке контента на основе технологии web и CSS 3 можно использовать наряду с RGB также модель HSL (Hue-Saturation-Lightness – тон-насыщенность (цвета)-светлота (цвета) или визуальная оценка яркости) – это альтернативная цветовая модель, разработанная для более полного соответствия тому, как человеческое зрение воспринимает цветообразующие свойства. В связи с тем, что документ-containers с внедренной в него тайной информацией M может подвергаться анализу или обработке в различной среде, представляет интерес оценить, в какой степени осажденная информация на основе использования одной цветовой модели сохраняется при переходе на другую модель: RGB – в HSL или HSL – в RGB.

Отметим, что модель HSL является представлением модели RGB в цилиндрической системе координат. HSL представляет цвета более интуитивным и понятным для восприятия образом, чем RGB. Модель часто используется в графических приложениях, в палитрах цветов и для анализа изображений. HSL имеет цилиндрическую геометрию. Для того чтобы определить тон (Hue, H) нужно указать градус поворота (от 0° до 360°) цветового спектра замкнутого в цветовой круг: радуга, замкнутая в круг, в котором красный цвет всегда ориентирован на север, и угол равен 0° , 120° – это зелёный, 240° – синий. Между этими основными цветами расположены все остальные оттенки цветового спектра.

Использование в качестве containers текстового (word) документа характеризуются необходимостью учета ряда специфических особенностей. К основным из таких особенностей относятся: стандартная кодировка символов текста в принятой цветовой модели – 0, 0, 0; изменение стандартной кодировки в цветовых каналах (в

одном, в любых двух или в трех одновременно) в диапазоне от 1 до 4 младших битов (от 1 до 15 из 255) визуально обнаружить практически нельзя; конвертация файла-контейнера по схеме doc(docx) – pdf – doc(docx) уменьшает цветовой код символа в каждом канале на одну единицу (на 1 бит). Дополнительно нами для анализа целостности M при конвертации S в различные графические форматы (BMP, GIF, JPG, TIFF) было использовано оригинальное изображение размером 2154×3721 пикселей (1 259 216 байтов). После внедрения сообщения ($M = \text{ITS-2022}$) изображение-контейнер стало занимать 1 261 348 байтов. Были рассмотрены следующие варианты конвертации: PNG–BMP–PNG, PNG–GIF–PNG, PNG–JPG–PNG, PNG–TIFF–PNG. Извлечение сообщения после конвертации происходило из файла, обратного преобразованного в формат PNG.

Конвертация выполнялась с помощью разных сервисов. При использовании Adobe Photoshop сообщение M сохраняется в полном объеме (без ошибок) при конвертации в форматы BMP, JPG, TIFF. При конвертации изображения-контейнера сервисов cloudconvert.com, image.online-convert.com и www.freeconvert.com, как правило, извлеченное сообщение состояло из всех нулей (при конвертации в BMP и TIFF) либо из всех единиц (при конвертации в GIF).

Существуют такие наборы параметров в обеих моделях (RGB и HSL), которые практически не изменяют при конвертации контейнера цвет модифицированного при стеганографическом преобразовании объекта (символа). Это является положительным фактом, свидетельствующим в пользу стеганографической стойкости рассмотренного метода [5].

II. КОДИРОВАНИЕ ВНЕДРЯЕМОГО В КОНТЕЙНЕР СООБЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИЗБЫТОЧНОГО КОДА

Модель преобразования исходного сообщения (кодирование/декодирование + стеганография) обычно выполняется двояко: 1) независимое (от содержимого пустого контейнера) избыточное кодирование внедряемого сообщения M с выполнением необходимых последующих операций [6], кодирование с учетом этого содержимого [1]. Можно также объединить оба подхода с учетом вышеприведенных особенностей и результатов конвертации стеганоконтейнера. Каждый m_i символ размещаемого текстового сообщения M , представленный кодом ASCII ($k = 8$ бит),

можно разделить на 2 части по 4 бита каждая: $X_{k1,i} = x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, x_{4i}$; $X_{k2,i} = x_{5i}, x_{6i}, x_{7i}, x_{8i}$. Далее необходимо сложить по модулю два (XOR) $X_{k1,i}$ и $X_{k2,i}$: $x_{1i} + x_{5i} = x_{r1,i}, \dots, x_{4i} + x_{8i} = x_{r4,i}$. Вычисленные биты четности составят 4-битное избыточное слово, X_{ri} . Полубайты некоторого символа m_i тайного текста, $X_{k1,i}$ и $X_{k2,i}$, а также избыточного слова X_{ri} записываются по отдельности в каналы, соответствующие трем цветам модели RGB некоторого символа c_j текста-контейнера C . Такой модифицированный символ обозначим c_{jm} . Следующая модификация c_{jm} ($(c_{jm})'$) приведет к тому, что кодовые расстояния между парами векторов $(X_{k1,i}$ и $(X_{k1,i})'$, $X_{k2,i}$ и $(X_{k2,i})'$, X_{ri} и $(X_{ri})'$) будут не равны нулю. Это предопределяет реализацию дальнейших шагов по восстановлению исходных слов $X_{k1,i}$ и $X_{k2,i}$. С другой стороны, это может использоваться для доказательства нарушения прав интеллектуальной собственности.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bierbrauer, J., Fridrich J. Constructing Good Covering Codes for Applications in Steganography. In: Shi, Y.Q. (eds) Transactions on Data Hiding and Multimedia Security III. Lecture Notes in Computer Science, vol. 4920. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. – P. 1–22.
2. Савельева, М. Г. Метод стеганографического преобразования web-документов на основе растровой графики модели RGB / М. Г. Савельева, П. П. Урбанович // Труды БГТУ. Сер.3. Физико-математические науки и информатика. – 2022. – № 2 (260). – С. 90–107.
3. Shutko, N. Method of syntactic text steganography based on modification of the document-container aprosh / N. Shutko, P. Urbanovich, P. Zukowski // Przegląd Elektrotechniczny. – 2018. –Vol. 6. – P. 82–85.
4. Урбанович, П. П. Использование системных свойств и параметров текстовых файлов в стеганографических приложениях / П. П. Урбанович, Д. Э.Юрашевич // Теоретическая и прикладная криптография : материалы международной научной конференции, Минск, 20-21 октября 2020 г. – Минск : БГУ, 2020. – С. 68-73.
5. Шутько, Н. П. Стойкость стеганографических документов-контейнеров при их конвертации на основе цветковых моделей RGB И HSL / Н. П. Шутько // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 10–11 ноября 2021 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – В 6 т.; Т. 5. – Казань: Изд-во ИП Сагиева А.Р., 2021. С. 748–752.
6. Урбанович, П. П. Коррекция одиночных и двойных парных ошибок в стеганографических каналах передачи информации / П. П. Урбанович // Информационные системы и технологии = Information Systems and Technologies [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч. конгресса по информатике. В 3 ч. Ч. 1, Респ. Беларусь, Минск, 27–28 окт. 2022 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: С. В. Абламейко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2022. – С. 113–119.

ОБЗОР АЛГОРИТМОВ И МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Внук О. М., Гуринович А. Б., Скиба И. Г.

кафедра информационных технологий автоматизированных систем, кафедра вычислительных методов и программирования, отдел информационных технологий, Белорусский государственный университет

информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {o.vnuk, gurinovich, i.skiba}@bsuir.by

Цифровизация современного общества требует новых способов структурирования и обработки больших объемов информации. Ограниченность человеческих ресурсов и постоянное желание сократить расходы привели к созданию систем, которые учитывают различные аспекты, способные повлиять на выбор того или иного варианта в процессе принятия решений, а также рассчитать наиболее привлекательные из них. Подобные системы предоставляют своим пользователям вычислительные ресурсы, услуги по обработке, поиску и хранению информации, отвечают за обеспечение глобального мультимедийного общения. Важным аспектом является тот факт, что все решения по изменению структуры информационной системы имеют долгосрочные последствия. Данный факт обуславливают важность принятия оптимальных решений на стадиях планирования и оптимизации информационных систем.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы принятия решений в сложных условиях занимают в настоящее время особое место в информационных технологиях. Математические методы широко применяют для описания и анализа сложных экономических, социальных и других систем.

Принятие решений является не одномоментным актом. Это достаточно длинный процесс. Г. Саймон выделяет в нем три этапа:

1. поиск информации (собирается вся доступная на момент принятия решения информация: фактические данные, мнение экспертов. Там, где это возможно, строятся математические модели; проводятся социологические опросы; определяются взгляды на проблему со стороны активных групп, влияющих на ее решение);
2. поиск и нахождение альтернатив (связан с определением того, что можно, а что нельзя делать в имеющейся ситуации, т. е. с определением вариантов решений);
3. выбор лучшей альтернативы (включает в себя сравнение альтернатив и выбор наилучшего варианта (или вариантов) решения).

I. СХЕМА ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Общая схема процесса принятия решений включает следующие основные этапы:

Этап 1. Предварительный анализ проблемы (на этом этапе определяются главные цели; уровни рассмотрения, элементы и структура системы (процесса), типы связей; подсистемы, используемые ими основные ресурсы и критерии качества функционирования подсистем; основные противоречия, узкие места и ограничения).

Этап 2. Постановка задачи (она включает: формулирование задачи; определение типа зада-

чи; определение множества альтернативных вариантов и основных критериев для выбора из них наилучших; выбор метода решения задачи принятия решений (ЗПР)).

Этап 3. Получение исходных данных. На данном этапе устанавливаются способы измерения альтернатив. Это либо сбор количественных (статистических) данных, либо методы математического или имитационного моделирования, либо методы экспертной оценки.

Этап 4. Решение ЗПР с привлечением математических методов и вычислительной техники, экспертов и лица, принимающего решение. На этом этапе производятся математическая обработка исходной информации, ее уточнение и модификация в случае необходимости. Обработка информации может оказаться достаточно трудоемкой, при этом может возникнуть необходимость совершения нескольких итераций и желание применить различные методы для решения задачи. Поэтому именно на этом этапе возникает потребность в компьютерной поддержке процесса принятия решений, которая выполняется с помощью автоматизированных систем принятия решений.

Этап 5. Анализ и интерпретация полученных результатов. Полученные результаты могут оказаться неудовлетворительными и потребовать изменений в постановке ЗПР. В этом случае необходимо будет возвратиться на этап 2 или этап 1 и пройти заново весь путь. Решение ЗПР может занимать достаточно длительный промежуток времени, в течение которого окружение задачи может измениться и потребовать корректировок в постановке задачи, а также в исходных данных (например, могут появиться новые альтернативы, требующие введения новых критериев) [2].

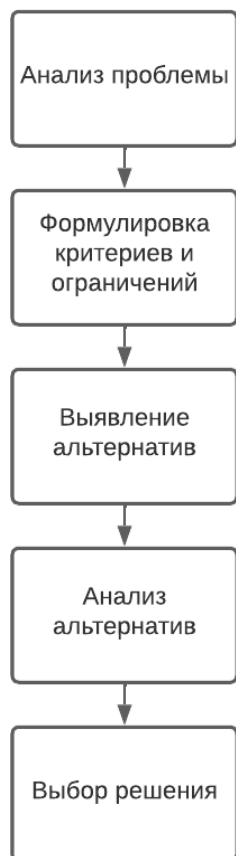


Рис. 1 – Стадии принятия решения

II. МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Поиск эффективных решений сопровождается значительными временными затратами из-за необходимости выполнения многократных реализаций используемых методов и алгоритмов с целью выбора оптимальных параметров. Таким образом, можно говорить о необходимости разработки эффективных методов и алгоритмов поддержки принятия решений в условиях неопределенности, обеспечивающих высокую обоснованность и адекватность принимаемых решений при низких временных затратах. Существует несколько классов методов принятия решений. Выбор метода решения конкретной задачи зависит от ряда факторов: объем и точность информации о внешних условиях, наличие опыта решения аналогичных задач в прошлом и т.д.

- Экспертные методы (при использовании этих методов решение принимается на основе оценок специалистов, уже имеющих опыт принятия аналогичных решений) и сводятся к сбору, обработке и анализу мнений и оценок нескольких экспертов. Качество принятия решений зависит от выбранной методики сбора и обработки экспертных суждений.
- Игровые методы (применяются в случаях, когда для каждого варианта решения можно определить его результаты в каждом из возможных вариантов внешних условий. Задачи, в которых имеется возможность

для каждого варианта решения оценить его возможные последствия в различных вариантах внешних условий).

- Статистические методы анализа и принятия решений могут применяться, если аналогичные решения уже принимались многократно, и имеются сведения об эффективности этих решений. Статистические методы основаны на анализе результатов принятия аналогичных решений в прошлом.
- Методы на основе деревьев решений обычно применяются в случаях, когда требуется анализ и выбор последовательности решений, и при этом принятие каждого решения зависит от результатов предыдущих решений и от информации о внешних условиях.
- Имитационные методы анализа и выбора решений основаны на моделировании процессов реализации возможных решений и внешних условий. Обычно при этом применяется метод Монте-Карло. Как правило, имитационные методы достаточно сложны и применяются в случаях, когда применение других методов невозможно из-за отсутствия необходимых данных и сложности формализации задачи.
- Методы оценки и выбора решений на основе зон риска. Они основаны на разбиении диапазона возможных потерь на поддиапазоны по степени их допустимости, которые называются зонами риска. Для каждой зоны риска определяется вероятность соответствующих потерь. На основе анализа зон риска и вероятностей попадания величины потерь в эти зоны выполняется оценка допустимости решения [3].

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поиск эффективных решений требует сопровождения значительными временными затратами из-за необходимости выполнения многократно повторяющихся реализаций используемых методов и алгоритмов с целью выбора оптимальных параметров. Таким образом, необходимость разработки эффективных методов и алгоритмов принятия решений в условиях неопределенности обеспечивает обоснованность и адекватность принимаемых решений при низких временных затратах.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никульшин, Б. В. Системный анализ и принятие решений в проектной и С40 управленческой деятельности: учеб.-метод. пособие / Б. В. Никульшин [и др.] // – Минск: БГУИР, 2021. – С. 72
2. Смородинский, С. С. Методы анализа и принятия решений в слабоструктурированных задачах: учеб. пособие по курсу “Методы и системы принятия решений” для студентов специальности “Автоматизированные системы обработки информации” / С. С. Смородинский, Н. В. Батин // – Минск: БГУИР, 2002. – С. 116

ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ В НАБОРАХ ДАННЫХ: МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Ярош Е. А. Пилецкий И. И.

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

Минск, Республика Беларусь

E-mail: yarosh.catherine@gmail.com

В данной статье проводится обзор типов аномалий, а так же набор современных методов машинного обучения, используемых для классификации и идентификации аномалий в наборах данных, таких как автокодер, изолирующий лес и эллипсоидальная аппроксимация данных.

ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение аномалий в наборах данных — это важная задача для обеспечения безопасности и получения экономической выгоды. Аномалиями называют отклонения или выбросы от нормального поведения при наблюдении различных явлений или экспериментальных данных. Важно понимать, что это за аномалии и их причины. Это могут быть сбои системы или злонамеренные действия. Поэтому в современных условиях, в системах принятия решений это крайне важная задача. Для обнаружения аномалий в современных системах применяются различные методы и алгоритмы машинного обучения.

Поиск аномалий и выявление подозрительных операций с помощью машинного обучения широко применяется в клиентской аналитике, банковском аудите и многих других видах аналитики.

1. Виды аномалий

Аномалии можно условно разделить на три типа: точечные аномалии, контекстуальные аномалии и коллективные аномалии.

Точечная аномалия [1] часто представляет собой неровность или отклонение, которое происходит случайно и может не иметь особой интерпретации. Например, на рисунке 1 транзакции кредитной карты с большими расходами, зарегистрированной в ресторане Монако, первая транзакция кажется точечной аномалией, поскольку она значительно отклоняется от остальных сделок.

Аномальные наборы отдельных точек данных известны как *коллективные аномалии* [3], при этом каждая из отдельных точек в отдельности выглядит как экземпляры нормальных данных, в то же время в группе они демонстрируют необычные характеристики. Например, рассмотрим иллюстрацию мошеннической транзакции по кредитной карте в данных журнала, показанных на рисунке 1, если произошла бы одна транзакция «MISC», это, вероятно, не могло бы показаться аномальным. Следующая группа из транзакций на сумму 75 долларов, безуслов-

но, кажутся кандидатами на коллективную или групповую аномалию.

May-22	1:14 pm	FOOD	Monaco Café	\$1,127.80	→ Точечная аномалия
May-22	2:14 pm	WINE	Wine Bistro	\$28.00	
...					
Jun-14	2:14 pm	MISC	Mobil Mart	\$75.00	} Групповая аномалия
Jun-14	2:05 pm	MISC	Mobil Mart	\$75.00	
Jun-15	2:06 pm	MISC	Mobil Mart	\$75.00	
Jun-15	11:49 pm	MISC	Mobil Mart	\$75.00	
May-28	6:14 pm	WINE	Action shop	\$31.00	
May-29	8:39 pm	FOOD	Crossroads	\$128.00	
Jun-16	11:14 am	MISC	Mobil Mart	\$75.00	
Jun-16	11:49 am	MISC	Mobil Mart	\$75.00	

Рис. 1 – Обнаружение мошенничества с кредитными картами: иллюстрации точечной и коллективной аномалии

Контекстуальная аномалия также известная как условная аномалия, представляет собой экземпляр данных, который можно рассматривать как аномальный в некотором конкретном контексте. Это означает, что наблюдение за одной и той же точкой в разных контекстах не всегда будет свидетельствовать об аномальном поведении. Контекстуальная аномалия определяется сочетанием контекстуальных и поведенческих признаков [3]. Для контекстуальных признаков чаще всего используются время и пространство, тогда как поведенческие признаки зависят от анализируемой области — суммы потраченных денег, средней температуры или какой-либо другой количественной меры, которая используется в качестве признака.

Рисунок 2 иллюстрирует пример контекстуальной аномалии с учетом данных о температуре, обозначенных резким падением незадолго до июня. Это значение не указывает на нормальное значение, найденное за это время.

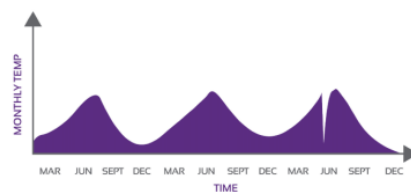


Рис. 2 – Температурные данные Hayes и Capretz

II. МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ

На данный момент самыми популярными алгоритмами машинного обучения являются следующие:

1. Автокодер
2. Изолирующий лес
3. Эллипсоидальная аппроксимация данных

Автокодер [2] представляет собой нейросеть прямого распространения, обученную с помощью обратного распространения ошибки. Автокодеры особым образом используют свойство нейронной сети для реализации некоторых эффективных методов обучения сетей для изучения нормального поведения. Когда поступает точка данных с выбросом, автокодер не может ее хорошо кодировать. Он научился представлять шаблоны, не существующие в этих данных. При попытке восстановить исходные данные из их компактного представления реконструкция не будет похожа на исходные данные. Это помогает обнаруживать аномалии при их возникновении. Цель такого процесса — попытаться восстановить исходный ввод из закодированных данных, что имеет решающее значение при создании модуля обнаружения аномалий.

В архитектуре автокодера есть 3 основные части:

- *Кодировщик* уменьшает размерность набора данных высокой размерности до низкоразмерного;
- *Код* содержит сокращенное представление ввода, который подается в декодер;
- *Декодер* расширяет данные низкой размерности до данных высокой размерности.

Изолирующий лес — это алгоритм обучения без учителя, который выявляет аномалии, изолируя выбросы в данных [3].

Изолирующие леса строятся на основе деревьев решений. В них случайно отобранные данные обрабатываются в древовидной структуре на основе случайно выбранных признаков. Образцы, которые перемещаются глубже в дерево, с меньшей вероятностью будут аномалиями, поскольку для их изоляции требуется больше разрезов. Точно так же образцы, которые заканчиваются более короткими ветвями, указывают на аномалии, поскольку дереву было легче отделить их от других наблюдений.

Изолирующий лес рекурсивно создает раздели в наборе данных, случайным образом выбирая объект, а затем случайным образом выбирая значение разделения для объекта. Предположительно, для аномалий требуется изолировать меньшее количество случайных разделов по сравнению с «нормальными» точками в наборе данных, поэтому аномалии будут точками с меньшей длиной пути в дереве, причем длина пути представляет собой количество ребер, пройденных от корневого узла.

В **эллипсоидальной аппроксимации данных** [4], как следует из названия, облако точек моделируется как внутренность эллипсоида. Метод хорошо работает только на одномерных данных, а особенно хорошо — на нормально распределённых. Степень новизны здесь фактически определяется по расстоянию Махаланобиса.

Одним из распространенных способов обнаружения аномалий является в предположении, что данные распределены каким-то известным способом, например, по Гауссу. В таком случае задача заключается в определении вида этого распределения и выделении тех объектов, которые не удовлетворяют найденному распределению.

Степень аномальности объекта определяется по расстоянию Махаланобиса, в математической статистике являющимся мерой расстояния между векторами случайных величин и обобщающим понятие евклидова расстояния. В задаче определения принадлежности точки одному из классов необходимо найти матрицы ковариации всех классов, что, обычно, делается на основе известных выборок из каждого класса. При вычислении расстояния Махаланобиса до каждого класса выбирается тот класс, для которого это расстояние оказалось минимальным, что эквивалентно методу максимального правдоподобия (Maximum likelihood estimation, MLE). Точка, имеющая наибольшее расстояние Махаланобиса до остального множества точек, считается аномалией. Такая точка имеет наибольшее влияние на кривизну и на коэффициенты уравнения регрессии. Также расстояние Махаланобиса может быть использовано в задаче определения многомерных выбросов.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье были рассмотрены три типа аномалий в наборах данных. Были описаны наиболее эффективные алгоритмы машинного обучения для обнаружения аномалий на сегодняшний день: автокодера, изолирующего леса и эллипсоидальной аппроксимации данных.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. Chandola, A. Banerjee, V. Kumar, "Anomaly detection: A survey", ACM Computing Surveys, vol. 41(3), 2009, pp. 1–58
2. Anomaly detection in cardio dataset using deep learning technique: autoencoder [Electronic resource]: Suchimisita Sahu, 2021.– Mode of access: <https://medium.com/analytics-vidhya/anomaly-detection-in-cardio-dataset-using-deep-learning-technique-autoencoder-fd24ca9e5c69>. – Date of access: 10.10.2022.
3. Ho, Tin Kam. Random Decision Forests // Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, Montreal, QC. — 1995. — Pp. 278–282.
4. G. Calafiore, "Approximation of n-dimensional data using spherical and ellipsoidal primitives", IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics - Part A Systems and Humans, vol. 10, April 2002.

IMPROVING IMAGE QUALITY ALGORITHMS

Hu Yuan, Alevtina Gourinovitch
Faculty of Information Technology and Management,
Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics
Minsk, Belarus
E-mail: 1846002512@qq.com

This article mainly introduces image feature extraction and briefly introduces how to improve image quality through image feature extraction.

INTRODUCTION

Image features mainly include color features, texture features, shape features and spatial relationship features of images.

The color feature is a global feature, which describes the surface properties of the scene corresponding to the image or image area; the texture feature is also a global feature, which also describes the surface properties of the scene corresponding to the image or image area; there are two types of shape features Representation methods, one is contour features, the other is regional features. The contour features of the image are mainly aimed at the outer boundary of the object, while the regional features of the image are related to the entire shape area; the spatial relationship features refer to the segmentation of the image. The mutual spatial position or relative direction relationship between multiple objects, these relationships can also be divided into connection/adjacency relationship, overlapping/overlapping relationship and inclusion/inclusive relationship, etc.

Feature extraction is a concept in computer vision and image processing. It refers to using a computer to extract image information to decide whether each image point belongs to an image feature. The result of feature extraction is to divide the points on the image into different subsets, which often belong to isolated points, continuous curves or continuous regions. The data obtained by image feature extraction further improves the image quality step by step.

I. THE IMPORTANCE OF FEATURE EXTRACTION TO IMPROVE IMAGE QUALITY.

Feature extraction occupies a crucial position in computer vision, especially in traditional computer vision algorithms. For example, the more famous target recognition models such as HOG and DPM, the main research experience is in image feature extraction. aspect. Image enhancement can effectively enhance the valuable information in the image, improve the image quality, and meet the needs of some feature analysis. Therefore, it can be used in computer vision data preprocessing, which can effectively improve the quality of the image, thereby improving the target recognition. precision.

II. IMAGE ENHANCEMENT

Image enhancement consists of modifying some characteristics of the original image, such as sharpness and noise removal, so that the resulting image can be used in specific applications . Since this paper deals with an improvement of extraction and matching of gradient-based image features, we focus on contrast enhancement, which is to provide a better extraction of features

To enhance image contrast, grayscale transformation methods are usually used, such as gamma correction and histogram equalization . These work in many ways. For example, but some require parameter adjustment and may not be effectively enhanced local image regions in grayscale and color images. Retinex is an effective comparison method enhance color images applied in real scenes.

III. THE METHODS OF THE IMAGE ENHANCEMENT

1. Gamma Correction

Gamma correction is usually used for adjusting the different characteristics in brightness and color between monitors. The gamma coefficient is introduced to characterize the non-linear relationship between the pixel value and its actual luminance . The higher the gamma value is, the steeper the curve of this relationship is, thereby causing the increase of contrast. Gamma correction is defined as: $I' = I(\text{gamma})$

where I is the original image, I' is the correction result, and $\text{gamma} = [-\infty, \infty]$. We should choose an appropriate gamma value for an effective conversion. In our case, it is necessary to adjust the value on an image-by-image due to a variety of illumination conditions over scenes.

2. Histogram Equalization

The objective of histogram equalization is to convert the images so that the cumulative probability of pixel values becomes linear. This is achieved by converting each pixel value to the new one so that the number of pixels in each bin of the intensity histogram becomes as similar as possible, without inverting the pixel orders in terms of intensity.

The effect of histogram equalization is image enhancement, which is very useful for images where both the background and foreground are too bright or too dark. Histogram is a statistical method. According to the statistics of the probability of each pixel value in the image, the pixels of the image

are redistributed according to the probability distribution function to achieve the effect of image stretching, and the image pixel values are evenly distributed between the minimum and maximum values. between pixel levels.

3. Sharpening with Unsharp Masking

Image sharpening using unsharp masking is another image enhancement method. The process is to first blur the original image (unsharpen the mask), then subtract the blurred image from the original. This method is effective for contrast enhancement.

4. GAN-based low-light enhancement method

EnlightenGAN is a method that can be easily shelved to improve images. Acquired in low-light environments, as it removes the reliance on training data and it allows processing of various images from different domains.

IV. COMPARISON OF IMAGE ENHANCEMENT METHODS.

It can be seen the improvement of the histogram equalization and image sharpening methods, and the comparison chart of the image enhancement methods below.



Figure 1 – Figure 1 :Original



Figure 2 – Figure 2 :Histogram equalization

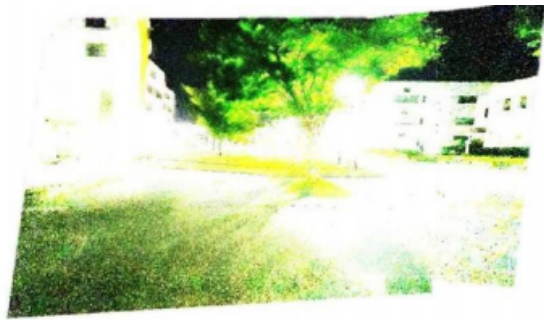


Figure 3 – Figure 3 :Gamma correction



Figure 4 – Figure 4 :Sharpening



Figure 5 – Figure 5 :EnlightenGAN

V. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

This article mainly describes the centralized image enhancement method that changes the extracted data by changing the characteristics of the image. Through this article, it can be found that through image analysis, the quality of the image can be improved, and then the computer vision resolution can be improved. This is very helpful for the follow-up study.

1. S. Patil and S. R. Patil, "Enhancement of featureextraction in image quality," in 2019 Third International conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC), pp. 490–495, IEEE, 2019.
2. E. Salahat and M. Qasaimeh, "Recent advances in features extraction and description algorithms: A comprehensive survey," in 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), pp. 1059–1

ОТСЛЕЖИВАНИЕ ОБЪЕКТОВ: АДАПТАЦИЯ МЕТОДА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Жданеня О. А.

Кафедра электронных вычислительных средств,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: olegzhdaneniya@gmail.com

Традиционно алгоритмы компьютерного зрения рассматриваются как единый процесс. Однако, распределённые варианты вызывают интерес, так как могут быть эффективнее. Задача отслеживания объектов существует уже несколько десятилетий и продолжает изучаться и развиваться. Имеется разные методы её решения. В данной работе рассматривается адаптация метода отслеживания нескольких объектов с применением YOLOv4 и DeepSORT для распределённой вычислительной системы.

ВВЕДЕНИЕ

Будем рассматривать сеть с определённым количеством камер. Стоит задача в режиме реального времени обрабатывать видеопотоки с этих камер, отслеживая объекты на них. Для отслеживания нескольких объектов в данной работе применяется метод основанный на использовании YOLOv4 и DeepSORT[1]: YOLOv4[2] выполняет роль детектора, позволяющего обнаружить объекты на изображении; DeepSORT[3] является трекером, отслеживающим перемещения нескольких объектов.

В традиционном подходе метод рассматривается как единое целое: имеется один видеопоток, который обрабатывается с помощью одной реализации метода с YOLOv4 и DeepSORT.

В данной работе рассматривается попытка адаптации метода для распределённой вычислительной системы с целью минимизации времени обработки видеопотока, а также затрачиваемых вычислительных ресурсов.

I. ВАРИАНТЫ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Рассматриваемый метод отслеживания объектов включает две части: детектор и трекер. Детектор занимается обнаружением объектов на изображении, вне зависимости от видеопотока, с которого обрабатываются кадры. Для трекера наоборот, для корректной работы алгоритма важно обрабатывать кадры только из одного видеопотока в хронологической последовательности. Согласно поставленным условиям предполагается два варианта распределённой вычислительной системы для дальнейшего анализа.

В первом варианте для каждого видеопотока создаётся подсистема с детектором и трекером. То есть количество подсистем обработки видеопотоков будет равно количеству камер в сети.

Во втором варианте создаётся одна подсистема с детектором, которая будет обрабатывать несколько видеопотоков, и для каждого видео

потока создаётся подсистема с трекером. Для большого количества обрабатываемых потоков необходимо будет создавать несколько подсистем с детектором.

II. СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Для проверки работы предложенных вариантов распределённых вычислительных систем используются тестовые данные из MOT16[4]. Каждый вариант проверяется на одновременной обработке одного, двух и трёх видеопотоков с одинаковыми данными. Критерием оптимальности в данной работе является минимальное время обработки видеопотока или же максимальная скорость обработки кадров.

Во время эксперимента было измерено среднее время обработки видеопотоков, содержащих одинаковые данные(см. рис. 1).

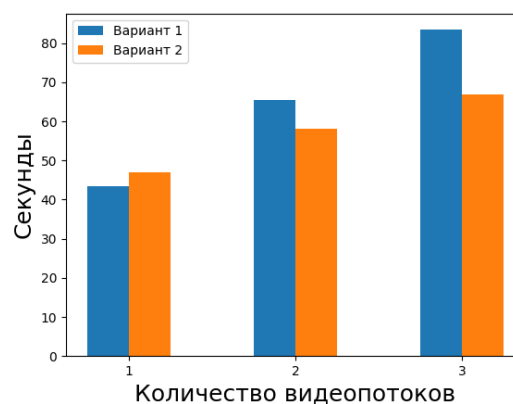


Рис. 1 – Среднее время обработки видеопотоков

Также для каждого видеопотока была измерена скорость обработки кадров(FPS)(см. рис. 2).

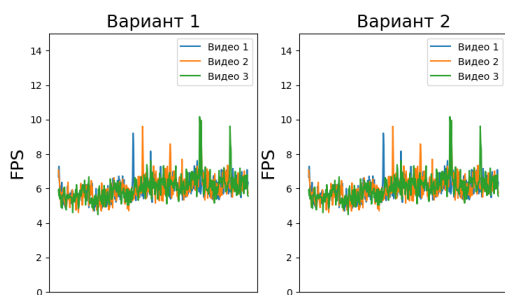


Рис. 2 – Скорость обработки кадров

В ходе экспериментов были получены данные об использовании вычислительных ресурсов: использование центрального процессора (см. рис. 3), использование графического процессора (см. рис. 4), использование ОЗУ (см. рис. 5), использование графической памяти (см. рис. 6). Данные были получены при обработке трёх видеопотоков.

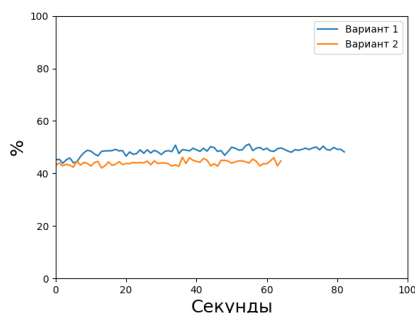


Рис. 3 – Загруженность центрального процессора

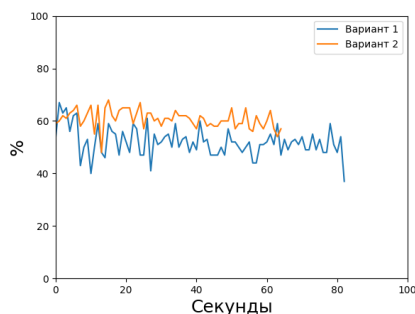


Рис. 4 – Загруженность графического процессора

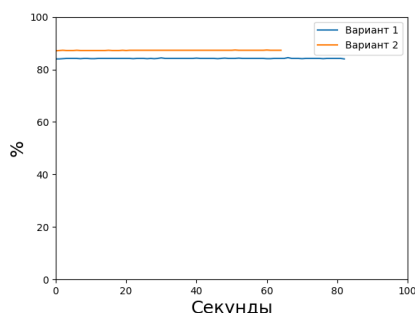


Рис. 5 – Использование ОЗУ

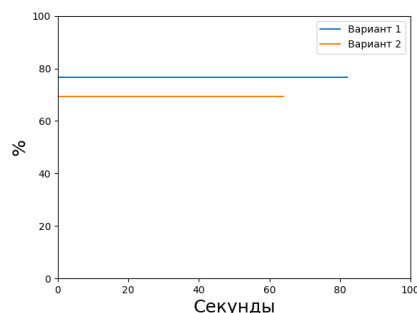


Рис. 6 – Использование графической памяти

III. ВЫВОДЫ

Исходя из полученных в эксперименте данных, наиболее оптимальным по времени обработки видеопотока является второй вариант системы, при обработке нескольких видеопотоков. Также он требует меньше ресурсов центрального процессора и графической памяти по сравнению с первым вариантом. Однако, при увеличении количества обрабатываемых видеопотоков, использование только одной подсистемы с детектором будет замедлять работу всей системы. Для сохранения производительности системы необходимо использовать несколько подсистем с детектором. Первый вариант системы оптимален по времени при обработке одного видео потока.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. yolov4-deepsort [Electronic resource] / J. Wotherspoon. – 2020. – Mode of access: <https://www.github.com/theAIGuysCode/yolov4-deepsort/>. – Date of access: 10.10.2022.
2. Bochkovskiy, A. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection / A. Bochkovskiy, Chien-Yao Wang, Hong-Yuan Mark Liao // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2021. – P. 13029–13038.
3. Wojke, N. Simple Online and Realtime Tracking with a Deep Association Metric / N. Wojke, A. Bewley, D. Paulus // IEEE International Conference on Image Processing. – 2017. – P. 3645–3649.
4. Multiple Object Tracking Benchmark MOT16 [Electronic resource] / A. Milan, L. Leal-Taixé, I. Reid, S. Roth, K. Schindler – 2016. – Mode of access: <https://motchallenge.net/data/MOT16/>. – Date of access: 10.10.2022.

Содержание

Пленарные доклады	7
Таранчук В. Б. Методы, инструменты, примеры интеллектуального анализа геоданных	9
Пархименко В. А., Быков А. А. Макроэкономическое моделирование «затраты - выпуск»: опыт прикладного использования	11
Секция «Системы управления»	21
Авсяник Е. С., Деменковец Д. В. Программно-аппаратный комплекс контроля движущихся средств	23
Черемисинова Л. Д., Черемисинов Д. И. Выделение логической компоненты при декомпиляции транзисторной схемы	25
Гордеюк А. В., Колосун Н. Д. Разработка модели устройства вторичной переработки пластика	27
Хаджинов М. К., Павлова А. В., Стасевич Н. А. Подавление колебаний подвеса крана настройкой регуляторов электропривода грузовой тележки	29
Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Карпук П. О., Оробей И.О. Идентификации объектов управления с электрическими исполнительными механизмами	31
Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Михновец А. С. Динамика канала регулирования воздушного теплообменника	33
Кобяк И.П. Производящая функция для вероятности пропуска ошибки при наблюдении двух векторов переходов	35
Кузнецов А. П., Городко С. И., Снисаренко С. В. Анализ устойчивости сложных дискретных динамических систем	37
Петровский И. И. , Свито И. Л. Резонанс в электрических цепях с элементами высшего порядка	39
Рябинкин Г. М., Деренчук В. И. Расширение возможностей языка программирования за счет добавления средств поддержки различных парадигм программирования	41

Сатинов Е. Е., Петухов В. И., Кийко В. Н. Синтез ПИД-регулятора методом обратной задачи динамики	43
Шабанович Р. А. Захарьев В. А. Уменьшение энергопотерь в электротранспорте	45
Жданович Т. Ю., Захарьев В. А. Автоматизация юзабилити экспертизы программного обеспечения	47
Секция «Интеллектуальные информационные технологии»	49
Ахапкина А. М. Шифрование файлов и директорий с помощью модулей и библиотек Python	51
Бодякова Д. Д. Использование искусственного интеллекта для обработки фотографий в мобильном фоторедакторе Movie Filter	53
Ивашенко В. П. От событийных множеств к растяжимым множествам	55
Ивашенко В. П. Семантические средства разработки программных компонентов на базе интеграционной платформы	57
Халецкий А. М. Система рекомендации в области образования и курсов	59
Kuchkarov T. A., Hamzayev J. F., Allamuratova Z. J. Tracking the Flow of Motor Vehicles on the Roads with Yolov5 and Deepsort Algorithms	61
Марко А. Ф. Методы соответствия версий и контроля целостности программного обеспечения для систем перемещений в режиме реального времени	63
Сайфиддинов С. Х. Внедрение интеллектуальных информационных технологий в сфере образования	65
Таранчук В. Б., Ходос Ю. О. Методы и инструменты интеллектуального анализа и интерпретации цифровых полей	67
Секция «Проектирование встраиваемых систем»	69
Бибило П. Н., Романов В. И. Синтез комбинационных схем на основе минимизации дизъюнктивных нормальных форм конечных предикатов	71

Бурак А. А., Петровский Н. А. Умножитель кватернионов на основе блочно-лестничной факторизации с использованием алгоритма CORDIC-II	73
Бурко Л. А., Кайки М. Н., Иванюк А. А. Программное средство синтеза аппаратных ускорителей по заданному полиному	75
Иванюк А. А. Физически неклонированная функция типа арбитр с модифицированными путями	77
Кайки М. Н., Иванюк А. А. Исследование стабильности промышленной SRAM памяти, используемой для неклонированной идентификации	79
Кайки М. Н., Петровский Н. А. FPGA-реализация 8-точечного одномерного ДКП-II на основе схемы Леффлера	81
Кардаш С. Н. Экспериментальное исследование алгоритмов ортогонализации системы ДНФ булевых функций	83
Логинова И. П. Формальная верификация результатов выполнения параллельных программ логической оптимизации	85
Шамына А. Ю., Иванюк А. А. Использование субтактовых линий задержки для анализа временных характеристик физически неклонированной функции типа арбитр	87
Секция «Математическое моделирование и компьютерная графика»	89
Бондарева Т. О. Диагностика промышленного оборудования: вибрационные подходы	91
Черемисинов Д. И., Черемисинова Л. Д. Система моделирования СБИС на языке параллельных алгоритмов управления	93
Гуревич А. В. Алгоритмы моделирования и визуализации работы оротронов и их модификаций	95
Гуревич О. В., Коршикова Д. В., Кукин Д. П., Шатилова О. О. Игровая аналитика	97
Гуревич О. В., Шатилова О. О., Кукин Д. П., Коршикова Д. В. Алгоритмы растровой графики	99

Gusev S., Gudkov A., Sharonava A. Automated Application for Large Sample Processing	101
Якимов Е. П. Обзор алгоритма графического построения областей Вороного для определения групп скважин по принципу «нагнетательная – реагирующие добывающие»	103
Ласточкина Е. С., Лутковский В. М. Открытый учебный проект биометрической системы	105
Metelitsa D. S., Savenko A. G. Visual shader programming	107
Петухов В. И., Сатинов Е. Е., Журавлёв В. И. Синтез ПИД-регулятора температуры оптоэлектронного модуля с применением элемента Пельтье	109
Ширшова М.А., Дружинская Е.В. Подбор инструментов для разработки виртуальной реальности	111
Сидоров Д., Митьковец Л. В., Гуринович А. Б. Построение системы передачи данных беспилотных летательных аппаратов	113
Цегельник В. В. Аналитические свойства решений семейства трехмерных диссипативных динамических пяти-элементных систем с одной квадратичной нелинейностью и одной константой	115
Врублевский С. С., Бысов А. А. учет задержки передачи пакета при планировании VPN-туннелей в сети электросвязи специального назначения	117
Ярмолик С. Н., Зайко Е. В., Свинарский М. В., Храменков А. С. Использование особенностей конструкции двигательных установок в интересах радиолокационного распознавания объекта	119
Зинченко Е. О., Мануйлова У. С., Никульшина К. Б., Гуринович А. Б. Применение нейросетевых алгоритмов для подбора сотрудников	121
Секция «Автоматизированные системы обработки информации»	123
Адамов Н. А., Шилин Л. Ю. Подход к подавлению шумов изображения путем применения нейронных сетей	125
Басак Д. В., Низовцов Д. В., Нестеренков С. Н. Информационная система управления студенческим общежитием	127

Белькин В. О., Громыко И. Л. Диагностика трансформаторов с помощью приборного учета данных и искусственного интеллекта	129
Боброва Т.С., Яролик В.И, Протченко Е.В. Использование моделей рекуррентных нейронных сетей для анализа патологического тремора	131
Бранцевич П.Ю., Лапицкая Н.В., Медведев С.А. Леванцевич В.А. Анализ достоверности функционирования структурных элементов систем виброконтроля	133
Buronova Gulnora Yodgorovna, Khahharova Maftuna Baxtiyorovna Use of virtual robotics in the development of students' engineering and creative abilities	135
Cheng Chengliang, German Yu.O. Facial Expression Recognition Method on Static and Dynamic Image	137
Езовит А. В., Гуринович А. Б. Метод выделения информации из характеристик аудиосигнала	139
Feiyu Xiao, German O.V. Distorted QR-Code Correction Algorithm	141
German J.O.¹, German O.V.² Realizing the Consciousness in Artificial Intelligence	143
Герман Ю.О.¹, Герман О.В.², Кузнецов М.В.² Формирование кластерной структуры зоны риска банкротства предприятия	145
Голубева И.А. Анализ временных рядов для прогнозирования доступности зарядных станций	147
Gudkov A., Shylin L. Comprehensive automated system for studying the Theory of Electrical Circuits	149
Guo Qiang, German O.V. Imbalanced data classification algorithm	151
Клепцова М. А., Гуринович А. Б. Моделирование структуры парка авиакомпании	153
Крейс А. В., Боброва Н. Л. Системы распознавания речи	155
Малахова А. Г., Гуринович А. Б. Алгоритмы компенсации и сокращения выбросов углерода для грузовой авиации	157

Mukha V. S. Multidimensional-matrix representation of tensor	159
Саркисян Э. Л. Алгоритмы и методы повышения производительности веб-приложений	161
Семенченя Т. С., Курочка К. С. Реконструкция 3D-модели поясничного отдела позвоночника человека методом Dual contouring на основе анализа цифровых КТ-изображений	163
Северин К. М., Парамонов А. И. Программный менеджер распределенных вычислений в мультиагентной среде	165
Скиба И. Г., Тарасюк И. С., Нестеренков С. Н. Анализ образовательных данных в высших учебных заведениях	167
Tang Yi, Gourinovitch.A. Small Object Detection Method	169
Труханович И. А., Парамонов А. И. Ансамблевый метод в задаче идентификации автора текста	171
Урбанович П. П., Плонковски М. Д., Савельева М. Г., Шутько Н. П. Особенности использования методов избыточного кодирования в стеганографических приложениях	173
Внук О. М., Гуринович А. Б., Скиба И. Г. Обзор алгоритмов и методов принятия решений для информационных систем	175
Ярош Е. А. Пилецкий И. И. Обнаружение аномалий в наборах данных: методы машинного обучения	177
Hu Yuan, Alevtina Gourinovitch Improving Image Quality Algorithms	179
Жданеня О. А. Отслеживание объектов: Адаптация метода для распределённой вычислительной системы	181

Научное издание

**Информационные технологии и системы 2022
(ИТС 2022)**

Материалы международной научной конференции
(БГУИР, Минск, Беларусь, 23 ноября 2022)

**Information Technologies and Systems 2022
(ITS 2022)**

Proceeding of The International Conference
(BSUIR, Minsk, Belarus, 23thNovember 2022)

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *А. И. Лапко, А. Б. Гуринович*
Компьютерная верстка *Н. В. Гракова, А. Ф. Трофимович*
Дизайн обложки *А. А. Навроцкий*

Подписано в печать 16.10.2013. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура «BookAntiqua».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 41,15. Уч.-изд. л. 45,3. Тираж 150 экз. Заказ 391.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6.

