МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

1 (19)

Донецк – 2020

УДК 004.3+004.9+004.2+51.7+519.6+519.7

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА, № 1 (19), 2020,
Донецк, ДонНТУ.

Представлены материалы по вопросам приоритетных направлений научно-технического обеспечения в области информатики, кибернетики и вычислительной техники.

Материалы предназначены для специалистов народного хозяйства, ученых, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Редакционная коллегия
Главный редактор: *Павлыш В. Н., д.т.н., проф.*
Зам. глав. ред.: *Мальчева Р. В., к.т.н., доц.*
Ответственный секретарь: *Воронова А. И.*
Члены редакционной коллегии: *Аверин Г. В., д.т.н., проф.; Аноприенко А. Я., к.т.н., проф.; Зинченко Ю. Е., к.т.н., доц.; Зори С. А., д.т.н., доц.; Карабчевский В. В., к.т.н., доц.; Миненко А. С., д.ф-м.н., проф.; Привалов М. В., к.т.н., доц.; Скобцов Ю. А., д.т.н., проф.; Федяев О. И., к.т.н., доц.; Шелепов В. Ю., д.ф-м.н., проф.*

Рекомендовано к печати ученым советом ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки ДНР. Протокол № 2 от 26 июня 2020 г.

Свидетельство о регистрации СМИ: серия ААА № 000145 от 20.06.2017.

Приказ МОН ДНР № 135 от 01.02.2019 о включении в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР.

Контактный адрес редакции
ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГОУ ВПО «ДонНТУ»,
4-й учебный корпус, к. 36., ул. Кобозева, 17.
Тел.: +38 (062) 301-07-35, +38 (071) 334-89-11
Эл. почта: infcyb.donntu@yandex.ru
Интернет: http://infcyb.donntu.org

© Донецкий национальный технический университет
Министерство образования и науки ДНР, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика и вычислительная техника

Анализ эффективности устройств сенсорной составляющей образовательной системы умного города
Аноприенко А. Я., Койбаш А. А., Приходченко Е. И. *5*

Архитектура специализированного графического процессора для выполнения SIMD-отсечения
Авксентьева О. А., Зори С. А., Мальчева Р. В. *12*

Исследование методов стеганографии при встраивании скрытой информации в частотную область изображения
Завадская Т. В., Крахмаль М. В. *18*

Компьютеризированная система оптимизации потребления электроэнергии жилого дома
Усова А. С., Хмелевой С. В. *27*

Мультифрактальный анализ детрендированных флуктуаций ЭКГ-данных
Бельков Д. В., Едемская Е. Н., Лазебная Л. А., Бойко В. Н. *36*

Применение теории алгоритмов в профессиональной деятельности человека
Добровольский Ю. Н., Ефименко К. Н. *44*

Система автоматического ограничения перенапряжений как структура управления коммутационными процессами в силовом трансформаторе шахтной участковой трансформаторной подстанции
Чернов И. Я., Золотарев Е. В., Ковалёва И. В. *52*

Сравнительный анализ и закономерности развития процессоров AMD и Intel
Максименко Н. С. *63*

Инженерное образование

Педагогические условия формирования коммуникативной культуры у будущих специалистов на основе их эмоционального состояния
Ванжа Т. В., Миненко А. С., Приходченко Е. И. *71*

Об авторах *77*

Требования к статьям, направляемым в редакцию научного журнала «Информатика и кибернетика» *79*

Информатика и вычислительная техника

УДК 004.75

Анализ эффективности устройств сенсорной составляющей образовательной системы умного города

А. Я. Аноприенко, А. А. Койбаш, Е. И. Приходченко
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
mr.koibash@gmail.com

Аннотация
В статье рассмотрено влияние информационно-коммуникационных технологий на процесс обучения, а также проанализирована эффективность системы образования в умном городе. Рассмотрены основные особенности умных городов и роль сенсорной составляющей в их образовательной системе. С целью улучшения скорости и качества обучения выявлена необходимость повышения степени интеграции датчиков внутри одного устройства для повсеместного сбора данных. Использование принципов постбинарного компьютинга в сенсорной составляющей позволит системе умного города повысить точность и скорость обработки информации, а также исключить вероятные погрешности при анализе данных.

Введение

Образование играет большую роль в современном мире, поскольку количество квалифицированных специалистов имеет прямое отношение к прогрессу в целом. Сегодня увеличивается количество обучающей литературы, проводятся новые исследования, огромный пласт знаний становится доступным благодаря развитию средств связи и глобальной мировой сети Интернет. В итоге, по мере роста объёмов информации, всё большую актуальность получает вопрос улучшения скорости и эффективности обучения.

Развитие компьютерной техники на сегодняшний день даёт возможность интеграции цифровых технологий во все сферы человеческой деятельности. Среди инновационных проектов важное место отведено созданию умных городов, позволяющих осуществлять креативное управление различными муниципальными аспектами и улучшать качество жизни граждан.

Умные города могут помочь увеличить эффективность образовательной системы путём создания комфортных условий для жителей. Это означает, что желающий обучаться сможет уделять больше внимания самому процессу получения знаний, меньше отвлекаясь на повседневную рутину.

Важным аспектом умного города является его сенсорная составляющая, позволяющая взаимодействовать системе с реальным миром. Поэтому такой город должен снабжаться множеством датчиков различного назначения. В образовательной системе это может проявляться от мониторинга биологических показателей до учета психологических данных обучаемого, что положительным образом скажется на качестве восприятия информации.

Такое количество разнообразной информации может дополнять друг друга при обработке окончательного результата. Важным шагом в этом направлении является интеграция максимального количества датчиков различных видов в единое устройство для более удобного сбора данных. Поскольку этому препятствуют как размеры устройств, так и проблемы с энергопотреблением, необходимо использовать новые подходы к вычислениям. В связи с этим актуальным является анализ эффективности использования принципов постбинарного компьютинга для мультисенсоров в образовательной системе умного города.

Анализ характерных особенностей умных городов

С начала своего развития Интернет проделал большой путь. Этот процесс продолжается и сегодня, что приводит ко всё большему переходу от Интернета людей к Интернету вещей – глобальной сети умных решений, способных осуществлять взаимодействие друг с другом. В рамках таких представлений о дальнейшем прогрессе сетей существует инновационная идея развития городов – концепция умного города.

Основной целью умного города является применение новых технических разработок во всех сферах городской жизнедеятельности. В таком городе объединены информационные технологии с Интернетом вещей, что позволяет удобно и централизованно управлять городской инфраструктурой и муниципальными службами. Умный город должен включать в себя множество цифровых устройств, а также использовать новейшие информационно-коммуникационные технологии для улучшения качества жизни и рабочей деятельности [1].

Города являются ключевыми социальными двигателями, и самые лучшие из них привлекают инвестиции и таланты, что приводит к их процветанию [2]. Основной целью умных городов являются инновации во всех его областях и значительное улучшение всех сфер жизнедеятельности для создания комфортных условий.

В статье [3] D. Washburn, U. Sindhu и другие приводят семь основных компонентов инфраструктуры умного города:

– администрация;
– образование;
– здравоохранение;
– общественная безопасность;
– недвижимость;
– транспорт;
– коммунальные услуги и рациональные расходы.

В статье [4] рассмотрены три фундаментальные компоненты умного города:

– технологический фактор. Необходимым условием является широкое использование информационно-коммуникационных технологий. Повсеместное использование встроенных устройств и средств связи является ключом к построению цифрового города;

– человеческий фактор. Умный город должен обеспечивать гражданам возможность эффективного образования и реализации творческого потенциала;

– институциональный фактор. К этому фактору относится умная политика управления, в том числе и вовлеченность всех заинтересованных сторон в процесс принятия решений.

Это достигается объединением направлений умного развития систем, представленных на рис. 1.

Рисунок 1 – Характеристики умного города [5]

Развиваясь во всех этих направлениях, умный город будет нацелен на максимальный комфорт и безопасность человеческой жизни. Такой город будет характеризоваться высокой эффективностью городской инфраструктуры, качеством и рациональностью в управлении городским имуществом. Системный анализ больших объёмов информации позволит достичь умному городу высокой производительности во многих сферах деятельности.

Использование информационно-коммуникационных технологий в образовании

Образование является одной из основных сфер жизни любого города. Прогресс в современном обществе невозможно представить без достаточного количества квалифицированных и специально обученных людей. Для подготовки необходимого числа профессионалов нужно поддерживать лучшие стороны существующих образовательных методик и внедрять инновационные достижения на стыке педагогики и информационных технологий.

За последние годы было оборудовано множество компьютерных классов, созданы различные тренажеры, появилась возможность дистанционного обучения. Доступность образования на сегодняшний день способствует развитию многих отраслей человеческой деятельности, и желающий обучаться имеет возможность выбора различных профессий. Ежегодно совершенствуются образовательные программы по различным дисциплинам для повышения качества и скорости обучения, т. к. именно такие критерии являются определяющими в условиях роста объёмов информации в современном мире.

При помощи информационно-коммуникационных технологий преподаватели могут совершенствовать текущие методы обучения и внедрять новые. Возможность демонстрировать иллюстративный материал в том объёме, который является необходимым и достаточным для понимания, значительно облегчает процесс восприятия информации. Появление гипертекста дало возможность создания прогрессивных обучающих пособий. Наличие же аудио- и видеосредств в презентациях улучшает понимание аудиторией сути лекции или доклада. Положительный эффект от этого проявляется и в воспитательной работе, которая является важным компонентом в формировании личности студента, в совершенствовании его возможностей и развитии креативности [6].

При таком многообразии профессий существуют и различные образовательные уровни, для которых необходима соответствующая учебная литература в открытом и удобном

доступе, который обеспечивается посредством Интернета. Сам процесс обучения возможен не только в очной форме, но и в заочной. Поэтому активно внедряется возможность дистанционного обучения в вузах, создаются специальные порталы с обучающими материалами. Видеолекции могут быть удобным вариантом для работающих людей, которые находятся на заочной форме обучения и не имеют возможности посещать лекции очно.

Применение дистанционного обучения позволяет использовать следующие новые достижения педагогики и социологии:

– групповую коммуникацию посредством Интернета;

– технически улучшенные игровые методики обучения [7].

Такие подходы положительным образом скажутся на уровне мотивации студентов, от которой зависит количество специалистов [8]. Например, в статье [9] авторы предлагают использовать технологии дополненной реальности, что обеспечит лучшее понимание учебного материала студентами.

С использованием компьютерной техники обучаемым становится проще связаться с преподавателем, отправив письмо или голосовое сообщение. Т. о., отсутствует необходимость приезжать лично. Это также может быть удобно тем, кому далеко добираться до учебного заведения. Такой подход предоставит комфортные условия получения квалификации людям с ограниченными физическими возможностями.

Уже сейчас использование компьютеров упростило задачу контроля знаний, поскольку специализированные программы позволяют быстро выводить статистику и предоставлять её практически в любой удобной и наглядной форме.

Однако дистанционное обучение характеризуется рядом минусов:

– менее выраженный личный контакт с преподавателем, который создаёт общее впечатление вне зависимости от проводимого предмета [10].

– менее выраженная социальная связь с другими обучаемыми в группе;

– из-за различных типов восприятия у студентов скорость при онлайн-обучении не всегда будет быстрее, нежели у очного;

– домашняя обстановка отличается от таковой в университете, что может иметь большое влияние на усвояемость материала.

Большинство недостатков легко могут быть разрешены в условиях умного города.

Преимущества системы образования умного города

Поскольку человек способен обучаться в любом возрасте, в умном городе должна оставаться возможность образования людей всех возрастов, вне зависимости от того, ребёнок это или взрослый работающий человек, желающий повысить свой образовательный уровень. Также для облегчения доступа к знаниям должны разрешаться любые возможные препятствия внешнего и личного характеров, которые могут стать на пути к самосовершенствованию.

Образование в умном городе имеет следующие положительные стороны по сравнению с обучением в обычных городах:

– более высокий уровень комфорта жизни людей в умном городе усилит вовлеченность граждан в образование.

– сочетание новейших технологий и последних достижений в области педагогики и психологии значительно усилят мотивацию обучаемых к изучению предметов, а также положительным образом повлияют на восприятие информации;

– высокий уровень мотивации повысит уровень научно-исследовательской деятельности [11];

– увеличение количества свободного и полезного времени благодаря лучшей логистике транспорта и рациональной инфраструктуре: люди смогут быстрее «добираться» в высшие учебные заведения, затрачивая меньше времени на транспорт;

– повышение коэффициента полезного действия образования за счёт повсеместной интеграции умных устройств, и, как следствие, мониторинга психологических и физических параметров человека;

– составление индивидуальных планов обучения, согласно собранной биометрии, что станет ещё одним фактором, направленным на лучшую усвояемость материала;

– возможность обучения людей с ограниченными физическими возможностями (при этом многие минусы дистанционного обучения могут быть исключены в условиях стремительного развития информатики и техники);

– снижение стоимости обучения [2];

– повсеместная необходимость высшего образования и рост спроса на профессионалов станут ещё одним стимулирующим фактором, побуждающим людей к самосовершенствованию и получению более высоких квалификационных уровней.

Эти факторы являются актуальными в условиях стремительного развития компьютерных систем и необходимости в специально обученных кадрах [12].

Улучшение сферы образования в умном городе прослеживается и в получаемых обучаемыми личных навыках. В статье [13] автор рассматривает концепцию Smart образования, которое будет сосредоточено на развитии семи умений, изображенных на рис. 2. В статье подчеркивается, что такое образование не представляется возможным без использования информационно-коммуникационных технологий, которыми, в свою очередь, умный город должен быть полноценно оснащён.

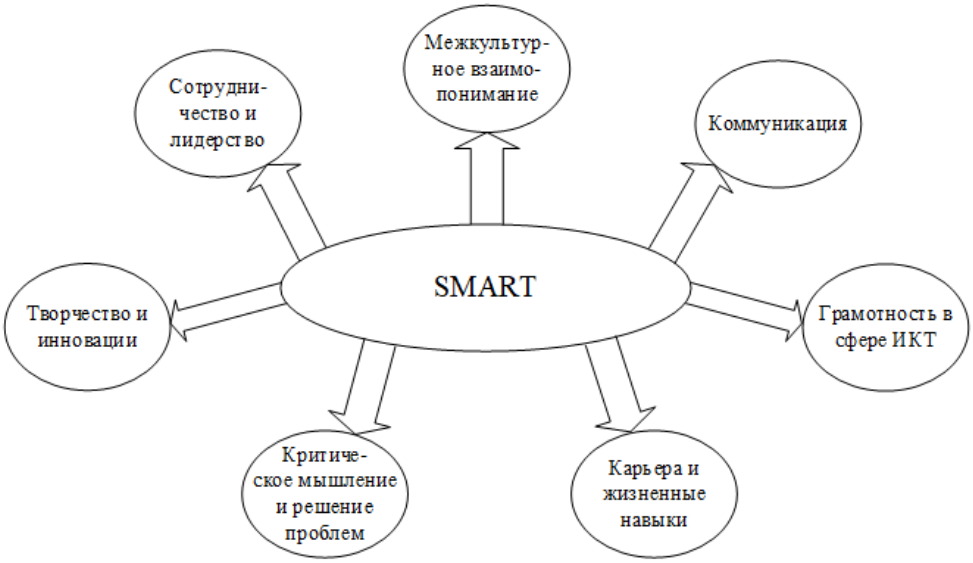


Рисунок 2 – Основные умения, развиваемые Smart образованием [13]

Умный город дополнит положительные стороны современного образования и нейтрализует негативные. Например, минусы дистанционного обучения могут быть исключены путём использования технологии виртуальной или дополненной реальности.

Всё это невозможно представить без огромного количества повсеместно встроенных умных устройств, сообщающихся друг с другом посредством как проводных, так и беспроводных компьютерных сетей. Поскольку процесс формирования единой вычислительной сети продолжается до сих пор, происходит становление ноосферы с присущими ей закономерностями [14–17], сенсорная составляющая будет играть важную роль во взаимодействии сети с реальным миром.

Роль сенсорной составляющей в образовательной системе умного города

Для системного анализа и принятия решений устройства должны получать преобразованную датчиками информацию реального мира. Значит, актуальной остаётся реализация сенсорной составляющей системы умного города. Сеть устройств по всему городу позволит осуществлять всесторонний мониторинг различных сфер жизнедеятельности, предоставляя решения по рациональному использованию ресурсов и их эффективному распределению.

Датчики являются важной частью сферы образования умного города и имеют непосредственное влияние на разрешение текущих проблем. Мониторинг распорядка дня в совокупности с анализом медицинских данных могут вывести эффективность обучения на новый уровень. А эффект присутствия в дистанционных лекциях и конференциях с использованием технологии дополненной реальности могут исключить большую часть минусов удалённого обучения.

Использование датчиков останется актуальным и в будущем. Так, авторы в статье [18] предлагают переход к супергороду – усовершенствованной концепции умного города. Такой город будет включать в себя дополнительные улучшения и эффективное планирование, что становится возможным при использовании умных встроенных устройств.

Вследствие необходимости анализа информации различного рода возникает вопрос необходимости преобразования данных из нескольких источников одновременно, т. к. эта информация в ряде случаев может взаимно дополнять друг друга. В этом контексте появляются предпосылки интеграции множества сенсоров в единое устройство – суперсенсор. Такое устройство должно обладать максимальным количеством датчиков и оставаться автономным долгое время в случае невозможности обеспечения бесперебойного питания.

В контексте развития Интернета вещей и умного города целесообразно говорить о создании сети суперсенсоров по всему городу. В работах [19-21] Аноприенко А. Я. и Варзар Р. Л. освещают данную тематику и ставят целью создание суперсенсорного компьютера и системы модулей к нему. Такая система, изображенная на рис. 3, предполагает высокую распределённость, портативность и дешевизну всех её частей.

Рисунок 3 – Архитектура интегрированной клиент-серверной суперсенсорной системы [20]

В статье [22] авторы предложили суперсенсор для 360-градусного восприятия окружающей среды. Такое устройство позволит значительно повысить отслеживающую способность всей сенсорной сети.

Сейчас в условиях стремительного развития информационных технологий возрастают требования к технике в целом, и, следовательно, к сенсорам в частности. Следовательно, можно выделить следующие проблемы повсеместного использования датчиков:

- точность данных;
- скорость передачи информации между устройствами;
- автономность работы без подзарядки;
- размеры устройств.

Для успешного и надёжного решения этих проблем необходимо, искать принципиально новые подходы к вычислениям.

Использование постбинарного кодирования в сенсорной составляющей

В статье [23] рассмотрены пути повышения эффективности сенсорной составляющей информационно-компьютерной инфраструктуры. Для её улучшения можно использовать концепцию постбинарного компьютинга, которую определили Аноприенко А. Я. и Иваница С. В. в книге [24]. Эта концепция в некоторой степени соответствует квазиквантовому и квазигенетическому компьютингу. В её основе лежит переход от двоичной логики к логике четырёх состояний – тетралогике.

В статье [25] Gupte A. N. и Goel A. K. сравнили тетралогику с бинарной логикой. Исследования проводились путём симуляции на компьютере «QUATLOG». В результате обнаружены следующие преимущества использования тетралогики:

- значительное сокращение длины блока кода;
- больший объём передаваемых данных;
- повышение точности при меньшей длине кода;
- реализация более достижима по сравнению с логиками более высоких порядков.

Т. о., использование тетралогики в суперсенсорных сетях может повысить эффективность всей сенсорной составляющей умного города при помощи повышения точности датчиков, оптимального потребления энергии, компактности и быстрой передачи больших объёмов данных. И это усилит преимущества умных городов благодаря точному и своевременному анализу получаемой информации.

В сфере образования такое улучшение положительным образом повлияет на качество обучения. Использование постбинарного компьютинга в сенсорной составляющей умного города позволит минимизировать погрешности при вычислениях и значительно улучшить передающую способность. При этом повысится точность построения различных моделей и расчетов, медицинских данных, усовершенствуется качество изображения в технологиях виртуальной и дополненных реальностях, улучшится эффективность работы всей системы в целом.

Выводы

Интенсивные темпы развития технологий обуславливают потребность в квалифицированных специалистах в самых разных отраслях человеческой деятельности. В связи с этим необходимо повышение скорости и качества обучения. Концепция умного города позволит вывести эффективность образования на принципиально новый уровень. Важным аспектом такого города является сенсорная составляющая всей системы, поскольку от точности и скорости полученных данных зависит дальнейший анализ информации. Её улучшение окажет положительное влияние как на образовательную сферу, так и на другие аспекты умного города.

Т. к. остаётся необходимость сбора информации из нескольких различных источников, то возникает потребность в создании суперсенсора, включающего в себя множество датчиков, и суперсенсорной сети.

Поэтому, высокая точность большого количества разнородных данных при анализе в совокупности даст соответственно более точные результаты и позволит минимизировать погрешность вычислений. Компактность, автономность и максимальная степень интеграции датчиков в единый суперсенсор позволят встраивать устройства повсеместно. Целая сеть же таких суперсенсоров даст возможность анализа данных из многих точек умного города, что позволит использовать максимально реальную и точную информацию во всех сферах жизнедеятельности человека.

Литература

1. Deakin M. From Intelligent to Smart Cities / M. Deakin, H. Al Waer // Journal of Intelligent Buildings International: From Intelligent Cities to Smart Cities, 3 (3). – 2014. – P. 140–152.

2. Dameri R. P. Smart city intellectual capital: An emerging view of territorial systems innovation management / R. P. Dameri, F. Ricciardi // Journal of Intellectual Capital, 16(4). – 2015. – P. 860–887.

3. Washburn D. Helping CIOs Understand “Smart City” Initiatives / D. Washburn, U. Sindhu, S. Balaouras, R. A. Dines, N. M. Hayes, L. E. Nelson // Forrester Research. Available at: https://www.forrester.com/report/Helping+CIOs+Understand+Smart+City+Initiatives/-/E-RES55590 (accessed 12 April 2020).

4. Nam T. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions / T. Nam, T. A. Pardo // In Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times. – 2011. – P. 282–291.

5. Giffinger R. Smart cities - Ranking of European medium-sized cities / R. Giffinger, C. Fertner, H. Kramar, R. Kalasek, N. Pichler-Milanović, E. Meijers // Centre of Regional Science, Vienna University of Technology. Available at: http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf (accessed 12 April 2020).

6. Приходченко Е. И. Воспитательная работа в высшей школе как фактор формирования и развития личности будущих специалистов / Е. И. Приходченко, Е. Б. Шеченко // Вестник Академии гражданской защиты. – Вып. 2 (18). – 2018. — С. 49-55.

7. Hiltz S. Education goes digital: The evolution of online learning and the revolution in higher education / S. Hiltz, M. Turoff // Communications of the ACM 48 (10). – 2005. – P. 59-64.

8. Приходченко Е. И. Педагогические подходы к развитию учебной мотивации студентов высшего образования профессионального образования / Е. И. Приходченко, Е. Б. Шевченко // Актуальные вопросы естествознания: сб. материалов III Всерос. науч.- практ. конф. с междунар. участием, 5 апр. 2018 г., г. Иваново. – Иваново, 2018. – С. 172- 176.

9. Singhal S. Augmented Chemistry: Interactive Education System. / S. Singhal, S. Bagga, P. Goyal, V. Saxena // International Journal of Computer Applications 49 (15). – 2012. – P. 1-5.

10. A. Ahmad, A. Role of Teacher in Student’s Personality Development / A. Ahmad // Psychology and Behavioral Science International Journal (PBSIJ) 2017. – 2017. – P. 2.

11. Приходченко Е. И. Формирование готовности студентов к самообразовательной деятельности / Е. И. Приходченко // Проблемы и пути совершенствования учебной, учебно-методической и воспитательной работы: материалы VII науч.-метод. конф., 31 янв. 2019 г., г. Донецк. – Донецк, 2019. – С. 224-232.

12. Аноприенко А. Я. Системный анализ закономерностей мирового развития компьютерных систем / А. Я. Аноприенко, К. А. Сидоров, Н. С. Максименко, А. А. Койбаш // Информатика и кибернетика. – Д.: ДонНТУ, – 2019. – № 4 (18). – С. 41-48.

13. Мезенцева Л. В. Образование взрослых: smart образование / Л. В. Мезенцева // Архивариус, 10 (2). – 2016. – С. 51-53.

14. Аноприенко А. Я. Нооритмы и время в информационную эпоху / А. Я. Аноприенко // «Время в зеркале науки». Специальный выпуск сборника научных трудов «Гуманитарные студии». Часть 1. – К.: Центр учебной литературы, 2010. – С. 291-305.

15. Аноприенко А. Я. Нооритмы: комплексная эмпирическая модель ноосферной динамики / А. Я. Аноприенко // Международный междисциплинарный симпозиум «Нанотехнология и ноосферология в контексте системного кризиса цивилизации». Сборник тезисов докладов. Симферополь. – Ялта, 4-10 января, 2011 г. – С. 30-32.

16. Аноприенко А. Я. Нооритмы: модели синхронизации человека и космоса / А. Я. Аноприенко. – Донецк: УНИТЕХ, 2007. – 372 с.

17. Аноприенко А. Я. Цивилизация, ноосфера и нооритмы / А. Я. Аноприенко // «Ноосфера и цивилизация». Научный журнал. Выпуск 7 (10). – Донецк, 2009. – С. 62-69.

18. Rathore M. M. IoT-Based Big Data: From Smart City towards Next Generation Super City Planning / M. M. Rathore, P. Anand, A. Awais, J. Gwanggil // International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS), 13 (1). – 2017. – P. 28-47.

19. Варзар Р. Л. Аппаратная архитектура сенсорного модуля суперсенсорного компьютера и его параметры / Р. Л. Варзар, А. Я. Аноприенко // Информационные управляющие системы и

компьютерный мониторинг (ИУС КМ – 2013): сборник материалов IV Всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Донецк. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С. 720-728.

20. Варзар Р. Л. Суперсенсорный компьютер для измерения и анализа параметров окружающей среды / Р. Л. Варзар, А. Я. Аноприенко // Информатика и компьютерные технологии – 2012: сборник трудов VIII международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, том 2, Донецк. – Донецк: ДонНТУ, 2012. – С. 156-161.

21. Аноприенко А. Я. Разработка прототипа суперсенсорного компьютера: особенности реализации и визуализации результатов измерений / А. Я. Аноприенко, Р. Л. Варзар // Материалы пятой международной научно-технической конференции «Моделирование и компьютерная графика», 24-27 сентября 2013 г., Донецк. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С. 218-229.

22. Varga R. Super-sensor for 360-degree Environment Perception: Point Cloud Segmentation Using Image Features / R. Varga, A. Costea, H. Florea, I. Giosan, S. Nedevschi // IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems. – Yokohama: 2017. – P. 1-8.

23. Койбаш А. А. Пути повышения эффективности устройств сенсорной составляющей информационно-компьютерной инфраструктуры / А. А. Койбаш // Информатика и кибернетика. – Д.: ДонНТУ, – 2019. – № 2(16). – С. 51-57.

24. Аноприенко А. Я. Введение в постбинарный компьютинг. Арифметикологические основы и программно-аппаратная реализация / А. Я. Аноприенко, С. В. Иваница. – Донецк: ДонНТУ, УНИТЕХ, 2017. – 308 с.

25. Gupte A. N., Goel A. K. Study of quaternary logic versus binary logic / A. N. Gupte, A. K. Goel // Proceedings. First Great Lakes Symposium on VLSI, Kalamazoo, MI. – USA: 1991. – P. 336-337.

Аноприенко А. Я., Койбаш А. А., Приходченко Е. И. Анализ эффективности устройств сенсорной составляющей образовательной системы умного города. *В статье рассмотрено влияние информационно-коммуникационных технологий на процесс обучения, а также проанализирована эффективность системы образования в умном городе. Рассмотрены основные особенности умных городов и роль сенсорной составляющей в образовательной системе умного города. С целью улучшения скорости и качества обучения выявлена необходимость повышения степени интеграции датчиков внутри одного устройства для повсеместного сбора данных. Использование принципов постбинарного компьютинга в сенсорной составляющей позволит системе умного города повысить точность и скорость обработки информации, а также исключить вероятные погрешности при анализе данных.*

Ключевые слова: *умный город, образование, Интернет вещей, сенсорная система, датчик, суперсенсор, постбинарный компьютинг, тетралогика.*

Anoprienko A., Koibash A., Prikhodchenko E. Analysis of devices efficiency of sensory component of the education system of the smart city. *This paper discusses the impact of information and communication technologies on the learning process. Also the effectiveness has been analyzed for the education system in a smart city. The features of the smart city and the role of the sensory component in the education system of a smart city have been considered. The need for increasing the degree of sensors integration within a single device for widespread data collection has been revealed in order to improve the speed and quality of education. Using the principles of post-binary computing in the sensor component will allow the smart city system to increase the accuracy and speed of information processing. Also it will exclude probable errors in data analysis.*

Keywords: *smart city, education, Internet of Things, sensor system, sensor, supersensor, post-binary computing, quaternary logic.*

Статья поступила в редакцию 15.04.2019
Рекомендована к публикации профессором Мальчевой Р. В.

УДК 004.92

Архитектура специализированного графического процессора для выполнения SIMD-отсечения

О. А. Авксентьева, С. А. Зори, Р. В. Мальчева
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
av@cs.donntu.org, ik.ivt.rec@gmail.com, raisa.malcheva@yandex.ru

Аннотация
В статье предложена архитектура специализированного графического SIMD-процессора для повышения производительности стадии отсечения стандартного 3D-графического конвейера. Предложенный спецпроцессор позволяет значительно повысить производительность отсечения за счет распараллеливания обработки ребер и одновременного отсечения по четырем границам окна находящихся в параллельной обработке ребер. Работоспособность предложенной архитектуры графического спецпроцессора подтверждена моделированием в среде ActiveHDL.

Введение

В настоящее время большую роль на практике и в научных исследованиях играет визуальное отображение и моделирование различных систем и процессов. Результаты обычно представляются в наглядной графической форме [1-4]. Однако, при отображении сложных, динамически изменяющихся сцен трудно обеспечить работу системы в реальном времени, что связано со значительным увеличением временных затрат на синтез и обработку изображений.

Основными способами повышения производительности таких систем отображения являются [4]:

– распараллеливание вычислений;
– применение специализированных автономных устройств на каждом этапе обработки изображения.

Известно, что наибольший эффект с точки зрения повышения производительности дает именно аппаратная реализация специализированных устройств, которая, как правило, базируется на параллельной вычислительной обработке данных [4].

Распараллеливание вычислений на различных этапах синтеза изображений (т. н. стадиях 3D-графического конвейера) позволяет значительно повысить быстродействие системы визуализации, но не все этапы графической обработки хорошо поддаются распараллеливанию [4]. В общем случае конвейер графической обработки состоит из следующих этапов [5]:

– формирование базы данных схемы;
– геометрические преобразования;
– перспективное проецирование и видовые преобразования;
– отсечение по границам экрана или видовому объему;
– удаление невидимых элементов сцены;
– растеризация изображения и визуализация.

И, хотя сегодня графический конвейер стандартизирован и реализован как на уровне аппаратуры графических адаптеров и видеокарт (с разной степенью эффективности), так и графического API, в области компьютерной графики постоянно проводятся исследования по повышению эффективности его процедур (особенно в специализированных системах визуализации) и созданию аппаратных средств поддержки в виде специализированных графических процессоров [6-11].

Из известных систем распараллеливания SIMD, MIMD, SPMD и пр. для распараллеливания в графике наиболее удобно использовать именно SIMD-структуры, так как все вышеуказанные этапы, в основном, требуют выполнения одинаковых операций над различными данными, что и обусловливает, как правило, SIMD-организацию специализированных графических процессоров [6-11]. В отличие от остальных этапов, отсечение по границам экрана напрямую не поддается распараллеливанию. Это связано в первую очередь с нелинейностью алгоритма, который требует многочисленных операций сравнения и множественных ветвлений, что нивелирует преимущества SIMD [4, 10, 11, 12]. При этом этап отсечения является достаточно трудоемким с точки зрения временных затрат. Это связано с итерационным характером алгоритмов поиска точек пересечения с границами экрана и последовательной обработкой элементов сцены.

Т. о., важной и актуальной задачей является обеспечение возможности распараллелить этап отсечения 3D-графического конвейера, что приведет к уменьшению временных затрат и позволит сократить длительность синтеза и обработки изображения в

целом, а также, для обеспечения максимальной эффективности, исследовать возможность аппаратной FPGA-реализации ускоренного процесса для специализированных систем синтеза и обработки изображений, где применение ставших сегодня стандартными в системах общего назначения мощных GPU не оправдано по разным объективным причинам.

SIMD-отсечение по границам экрана

Задача отсечения по границам экрана решается на двумерной плоскости экрана с использованием четырёх границ отсечения (X, −X, Y, −Y). В обычном алгоритме отсечения выполняются следующие этапы [13]:

– анализ расположения вершин граней относительно границ отсечения;

– поиск точек пересечения ребер с границами;

– окончательное замыкание нового контура грани.

Из вышеприведенных этапов с точки зрения распараллеливания наименее удобен этап анализа, который предполагает разветвленную структуру алгоритма. Известны работы [6, 8], в которых производится одновременный анализ расположения вершин ребра относительно четырёх границ. Однако более привлекательной является возможность вообще удалить этап анализа из процесса отсечения. Такая модификация возможна и может быть совмещена с этапом перспективного проецирования, который легко распараллеливается на SIMD-структурах, тем самым улучшив способность этапа отсечения к распараллеливанию.

После выполнения этапа проецирования формируется три списка граней:

– грани, которые полностью лежат в окне отсечения и непосредственно передаются на следующий этап;

– грани, которые полностью лежат вне окна отсечения и полностью отбрасываются;

– грани, которые пересекают границы экрана и требуют отсечения.

Именно грани из третьего списка обрабатываются на SIMD-отсекателях.

Архитектура SIMD-отсекателя

Предлагаемый принцип SIMD-отсечения представлен на рис. 1. Для его реализации необходима специальная архитектура спецвычислителя, выполняющего отсечение по границам экрана. Основными составными элементами такого вычислителя должны быть:

– ОЗУ;

– поле процессорных элементов;

– блок управления и коммутации;

– блок связи.

ОЗУ предназначено для хранения описания граней, требующих отсечения. Поле процессорных элементов (ПЭ) предназначено для реализации одинаковых операций над множеством различных данных.

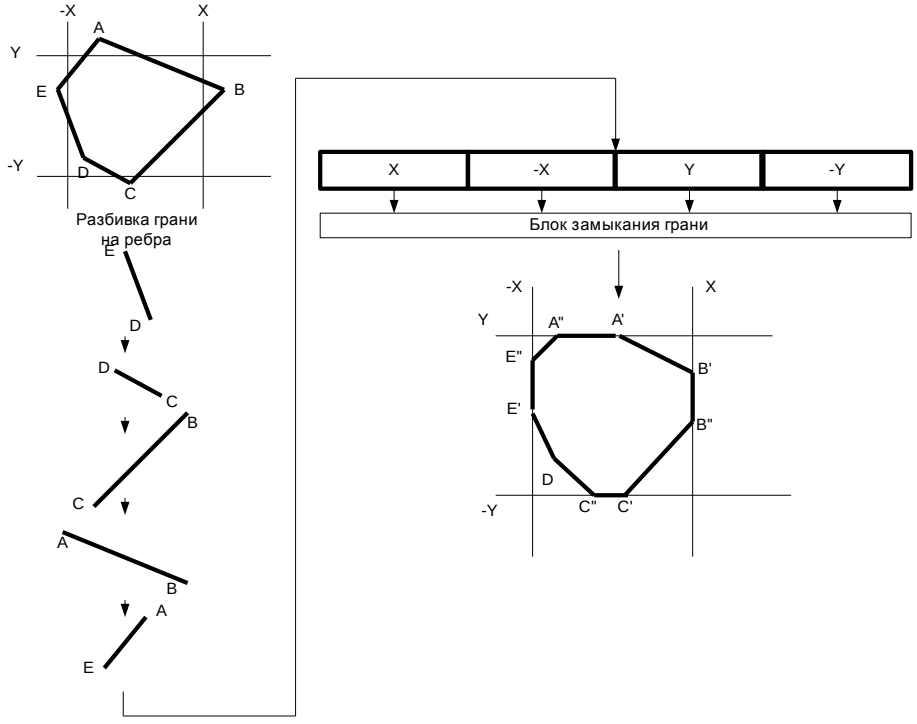


Рисунок 1 – Принцип SIMD-отсечения

ПЭ объединены в соответствии с SIMD-структурой обработки данных, т. е. они работают синхронно по командам от блока управления, при этом каждый ПЭ обрабатывает свой набор данных. Блок управления и коммутации (БУК) обеспечивает загрузку данных в ПЭ, управление их работой, выгрузку результатов в ОЗУ и замыкание полученного контура грани. Блок связи обеспечивает передачу данных между данным вычислителем и другими устройствами конвейера отображения.

Количество и тип ПЭ определяются степенью распараллеливания при построении данного вычислителя. Существуют четыре способа распараллеливания: по вершинам; по ребрам; по граням; по объектам.

При распараллеливании по вершинам предполагается, что каждый процессорный элемент оперирует с парой вершин (концами ребра) и выполняет поиск пересечения данного ребра со своей границей. Т. о., в данном случае количество требуемых ПЭ равно четырем: по количеству границ экрана. Такой способ распараллеливания характеризуется предельной простотой ПЭ, их малым количеством, но при этом низким приростом производительности. При распараллеливании по ребрам каждый ПЭ предназначен для обработки одного ребра. Т. е. он отсекает одно ребро по всем четырём границам одновременно. В таком случае количество ПЭ определяется количеством ребер, обрабатываемых параллельно. Данный способ приводит к значительному приросту производительности, но при этом и к усложнению схемы отдельного ПЭ. По аналогии при распараллеливании по граням каждый ПЭ обрабатывает одну грань, а по объектам – сразу один объект. Выберем наиболее оптимальный способ распараллеливания. Как можно видеть, при увеличении степени распараллеливания, увеличивается сложность ПЭ, коэффициент простоя и уменьшается время обработки. Оптимальное соотношение между приростом производительности и увеличением сложности ПЭ наблюдается для случая распараллеливания по ребрам. Дело в том, что обычно объекты аппроксимируются многоугольниками с фиксированным числом сторон (треугольники, четырехугольники и т. п.). Т. о., выбрав количество ПЭ равное числу ребер в аппроксимирующих многоугольниках, получим минимальный коэффициент простоя, так как все ПЭ всегда будут загружены обработкой ребер. В случае граней и объектов, их количество заранее неизвестно, поэтому значительно усложнится БКУ, и увеличится коэффициент простоя, т. к. часть ПЭ будет простаивать, если количество обрабатываемых элементов меньше, чем количество параллельных ветвей обработки. Т. о., в качестве наиболее оптимального был выбран способ распараллеливания по ребрам.

При разработке архитектуры вычислителя важным вопросом является способ взаимодействия между ОЗУ и полем ПЭ. Два наиболее типичных способа подключения ПЭ к ОЗУ – это магистральный и радиальный. При магистральном способе все шины данных ПЭ и ОЗУ подключаются к одной общей шине – магистрали. В данном случае для обеспечения возможности параллельной загрузки всех ПЭ необходима значительная ширина магистрали. Уменьшение разрядности шины приведет к невозможности параллельной загрузки, т. е. увеличится время, которое занимает загрузка и выгрузка из ПЭ. Второй способ предполагает подключение каждого ПЭ к ОЗУ по собственной шине данных. Такой способ возможен при использовании многопортового ОЗУ. В данном случае разрядность каждой шины данных невелика, но количество подключаемых ПЭ ограничено количеством портов в ОЗУ. Однако в нашем случае это ограничение не является определяющим, т. к. количество ПЭ определяется количеством ребер в аппроксимирующих многоугольниках, а оно обычно не превышает шести (шестиугольники). К достоинству такого способа можно отнести возможность разделять память между несколькими ПЭ и возможность независимо управлять обменом между ОЗУ и ПЭ для каждого канала, что сделает гибкой процедуру загрузки и выгрузки данных.

Предлагаемая архитектура спецвычислителя SIMD-отсечения по границам экрана приведена на рис. 2.

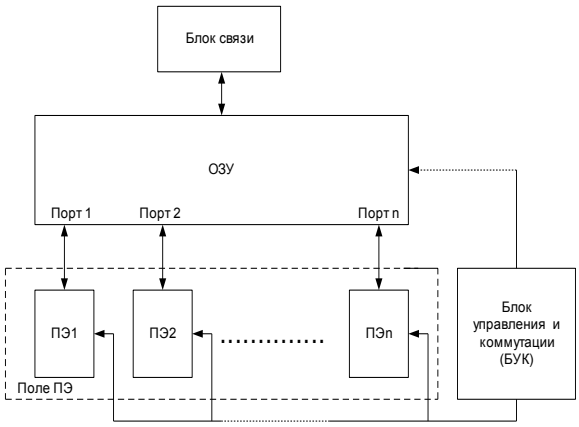


Рисунок 2 – Архитектура SIMD-отсекателя

Каждый ПЭ, в свою очередь, выполняет отсечение ребра одновременно по четырем границам экрана.

Рассмотрим структуру блока, выполняющего отсечение по четырём границам одновременно (рис. 3).

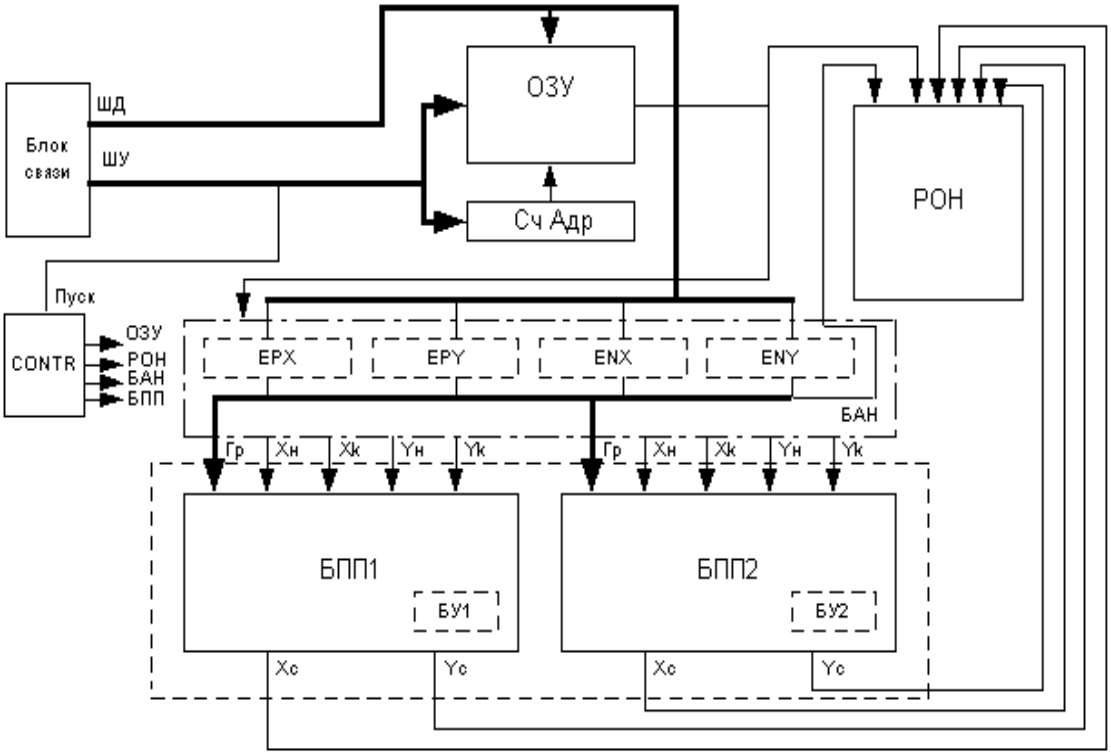


Рисунок 3 – Структура параллельного блока отсечения

Устройство содержит блок связи, обеспечивающий прием и выдачу данных и команд. Внутренний контроллер CONTR обеспечивает формирование управляющих сигналов для работы основных блоков:

– ОЗУ – предназначено для хранения координат вершин обрабатываемых ребер;

– СчАдр – счетчик адреса, используется для доступа к ОЗУ;

– РОН – блок регистров общего назначения, используемых для хранения промежуточных результатов обработки;

– EPX, EPY, ENX, ENY – регистры, хранящие значения границ отсечения;

– БАН – блок анализа, выполняющий проверку на необходимость отсечения по той или иной границе;

– БПП – блок поиска пересечения, выполняет вычисление координат точки пересечения ребра с границей экрана.

Известно, что пересечение ребра с границей может быть истинным или мнимым. Истинное пересечение – это пересечение непосредственно с границей, а мнимое – с ее продолжением за пределами экрана. Любое ребро не может иметь более двух истинных пересечений, поэтому в составе блока отсечения два БПП, работающих параллельно.

Т. о., БАН определяет, истинность и мнимость возможных пересечений и ставит БПП задачу выполнять только истинные пересечения.

Моделирование работы SIMD-отсекателя на языке VHDL

Для оценки правильности выбора архитектуры промоделируем работу SIMD-отсекателя. В качестве средства моделирования выберем среду Active-HDL, предназначенную для разработки и анализа аппаратных средств с использованием специального языка описания аппаратуры VHDL, ставшего сегодня де-факто стандартом описания и моделирования для FPGA-реализаций специализированной аппаратуры [14-16]. Процесс моделирования в данном случае сводится к разработке описания ПЭ, БУК, ОЗУ, созданию в среде Active-HDL функциональной схемы устройства и получению временных диаграмм работы устройства на тестовых примерах. Описание составных элементов отсекателя приведено на рис. 4.

Описание архитектуры устройства в VHDL-коде содержит набор внешних и внутренних сигналов и, собственно, тело архитектуры, в котором описано поведение устройства, в случае если проект иерархический и в устройстве можно выделить функционально обособленные элементы в теле архитектуры присутствует также описание структуры устройства. Значительная часть описания устройства выполняется в терминах процессов. Процесс – это формальный способ описания последовательности выполняемых действий в VHDL-коде.

```
entity RG_ent is
       port(DIN:in    std_logic_vector(31
 downto 0);
               U,CLK:in std_logic;
              DOUT:out
 std_logic_vector(31 downto 0));
end RG_ent;

entity RON_ent is
       port(DIN:in    std_logic_vector(31
 downto 0);
               ADDR:in
 std_logic_vector(7 downto 0);
              CLK:in std_logic;
              DOUT:out
 std_logic_vector(31 downto 0));
end RON_ent;

entity ROM_ent is
       port(DIN:in    std_logic_vector(31
 downto 0);
               ADDR:in
 std_logic_vector(15 downto 0);
              Rd, Wr:in std_logic;
              DOUT:out
 std_logic_vector(31 downto 0));
end ROM_ent;

entity BPP_ent is
       port(DINA,DINB:in
 std_logic_vector(31 downto 0);
               U1,U2,U3,U4:in std_logic;
              DOUT:out
 std_logic_vector(31 downto 0));
            X1,X2,X3: out std_logic;
end BPP_ent;
```

Рисунок 4 – Описание узлов отсекателя

Последовательность выполнения кода – это отличительная черта процессов, потому что все остальные элементы VHDL, предполагают параллельное выполнение. Отдельные процессы в VHDL также выполняются параллельно.

Выполнение процесса начинается с ключевого слова BEGIN и до ключевого слова END, при отсутствии в процессе списка чувствительности (sensitivity list) или операторов ожидания.

Список чувствительности процесса – это перечисление сигналов, при изменении состояния которых процесс должен продолжить выполнение. При наличии списка чувствительности процесс выполняется до ключевого слова END и там прекращает работу до тех пор, пока один из сигналов списка, не изменит свое состояние. На рис. 4 приведено описание только интерфейсной части узлов, т. е. перечень и свойства входных и выходных сигналов блоков. Описание архитектурной части блоков опущено из-за его громоздкости.

Результаты моделирования в среде ActiveHDL подтвердили работоспособность данной структуры отсекателя и продемонстрировали увеличение скорости обработки объектов, что обусловлено распараллеливанием по ребрам и параллельным отсечением ребра сразу по четырем границам.

Выводы

Предложенная в статье архитектура SIMD-отсекателя позволяет значительно повысить производительность этапа отсечения стандартного 3D-графического конвейера за счет дополнительного распараллеливания обработки ребер в каждом процессорном элементе. Т. е. ребра, которые обрабатываются параллельно, также одновременно отсекаются по четырем границам окна.

Для предложенной структуры разработана программная модель на основе языка VHDL.

Работоспособность предложенной архитектуры графического спецпроцессора подтверждается моделированием ее работы в среде ActiveHDL.

Литература

1. Рябинин К. В. Методы и средства разработки адаптивных мультиплатформенных систем визуализации научных экспериментов: Дис. канд. физ.-мат. наук: 05.13.11. - М., 2015.- 207 с. URL: http://library.keldysh.ru/diss.asp?id=2015-ryabinin

2. Бондарев А. Е., Галактионов В. А. Анализ многомерных данных в задачах многопараметрической оптимизации с применением методов визуализации // Научная визуализация. – М.: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2012. – К. 2, Т. 4, № 2. – С. 1-13.

3. VMWare. Graphics Acceleration in View Virtual Desktops. – 2014. – 32 p. – [Электронный ресурс]. – URL: https://www.vmware.com/files/pdf/techpaper/vmware-horizon-view-graphicsacceleration-deployment.pdf.

4. Зори С. А. Использование средств аппаратной поддержки для повышения производительности систем 3D-пространственной визуализации / С. А. Зори, А. Я. Аноприенко, Р. В. Мальчева, О. А. Авксентьева // Информатика и кибернетика. - Донецк: ДонНТУ, 2019. - № 1 (15). - С. 5-12.

5. Tor M. Aamodt, Wilson Wai Lun Fung, and Timothy G. Rogers. General-Purpose Graphics Processor Architectures // Synthesis Lectures on Computer Architecture, May 2018. - Vol. 13, No. 2. - Morgan & Claypool Publishers. - 140 p.

6. Timothy Forrest. SIMD Microprocessor for Image Processing // 20515848 School of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Western Australia, 30 May 2014. – 98 p. - [Электронный ресурс]. – URL: http://robotics.ee.uwa.edu.au/theses/2014-Retro-Forrest.pdf

7. Ming Qia, Guangzhong Suna, Guoliang Chena. Parallel and SIMD Optimization of Image Feature Extraction // International Conference on Computational Science, ICCS-2011. - P. 489-498.

8. Hariyama Masanori, Yokoyama, N., Kameyama Michitaka, Kobayashi Yasuhiro. FPGA

implementation of a stereo matching processor based on window-parallel-and-pixel-parallel architecture //MWSCAS-2015. - 2015. - Vol. 2. - P. 1219 - 1222.

9. Hoi-Jun Yoo, Jeong-Ho Woo, Ju-Ho Sohn, Byeong-Gyu Nam Mobile 3D Graphics SoC: From Algorithm to Chip //John Wiley & Sons Limited EUR, 2010. - 352 p.

10. Zori S. A., Bashkov E. A., Anas-M. Al Oraiqat. Specialized Computer Systems for Environment Visualization // Springer 3D Research. – 2018. - Vol. 9, No 2. - 13 p. | DOI: 10.1007/ s13319-018-0168-9

11. Копылов М. С., Бирюков Е. Д. Сравнительный анализ автоматического использования различных наборов инструкций SIMD в задачах моделирования и обработки компьютерной графики, // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. - ИПМ им. М.В. Келдыша, 2019. - № 21. – С. 21–26

12. Wilson W. L. Fung , Ivan Sham , George Yuan , Tor M. Aamodt. Dynamic warp formation: Efficient MIMD control flow on SIMD graphics hardware //ACM Transactions on Architecture and Code Optimization (TACO), Vol. 6, No 2, p. 1-37, June 2009.

13. Foley J. D. Computer graphics principles & practice / James D. Foley, John F. Hughes, Andries van Dam, Morgan McGuire, David F. Sklar, Steven K. Feiner, Kurt Akeley // Addison-Wesley Professional; 3 edition (July 20, 2013). – 1264 p.

14. Stephen Rose. Development of a Parallel Image Processing Architecture in VHDL, June 2012, 64 p. - [Электронный ресурс]. – URL: http://robotics. ee.uwa.edu.au/theses/2012-SIMD-Rose.pdf

15. Mahmood B. S., Jbaar M. A. A. Design and implementation of SIMD Vector Processor on FPGA // International Symposium on Innovations in Information and Communications Technology, Amman, 2011. - P. 124-130.

16. Malcheva R. Application of Multilevel Design on the base of UML for Digital System Developing // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2011. T. 79. C. 93-117.

Авксентьева О. А., Зори С. А., Мальчева Р. В. Архитектура специализированного графического процессора для выполнения SIMD-отсечения *В статье предложена архитектура специализированного графического SIMD-процессора для повышения производительности стадии отсечения 3D-графического конвейера. Предложенный спецпроцессор позволяет значительно повысить производительность отсечения за счет распараллеливания обработки ребер и одновременного отсечения по четырем границам окна находящихся в параллельной обработке ребер. Работоспособность предложенной архитектуры графического спецпроцессора подтверждена моделированием в среде ActiveHDL.*

Ключевые слова*: синтез изображений, 3D-графический конвейер, отсечение, повышение производительности, графический процессор, SIMD-спецпроцессор, архитектура*

Avksentieva O., Zori S., Malcheva R. Architecture of a specialized graphics processor for SIMD clipping. *The article proposes the architecture of a specialized graphics SIMD processor to improve the performance of the clipping stage in 3D graphics pipeline. The proposed special processor allows you to significantly improve the performance of clipping by parallelizing the processing of edges and simultaneously clipping the four borders of the window are in parallel processing edges. The performance of the proposed architecture of the graphics special processor is confirmed by modeling in the ActiveHDL environment.*

Keywords*: image synthesis, 3D-graphic pipeline, clipping, productivity increasing, graphics processor, special SIMD processor, architecture*

Статья поступила в редакцию 20.12.2019
Рекомендована к публикации профессором Миненко А. С.

УДК 004.912 : 004.932.2 : 004.932.72´1

Исследование методов стеганографии при встраивании скрытой информации в частотную область изображения

Т. В. Завадская, М. В. Крахмаль
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
meri.krakhmal@gmail.com

Аннотация
В статье выполнен обзор основных подходов к решению задач маркирования цифровых изображений. Приведена классификация цифрового маркирования по области встраивания цифровых водяных знаков. Показаны алгоритмы и математические модели сокрытия информации при использовании дискретного косинусного преобразования. Представлены результаты исследования метода Коха – Жао на устойчивость к наиболее распространенным атакам: сжатие с потерями и без потерь, добавление шума к контейнеру. Выполнен анализ полученных результатов и намечены задачи для дальнейшего исследования.

Введение

В настоящий момент обеспечение защиты информации является одним из основных вопросов. Актуальность данной проблемы воздействует на создание новых методов и алгоритмов, с помощью которых можно решать проблемы информационной безопасности.

Одним из основных направлений защиты информации является современная стеганография, представляющая собой совокупность методов, которые обеспечивают сокрытие самого факта существования конфиденциальной информации [1, 2]. Кроме этого осуществляется встраивание данных таким образом, чтобы стеганосообщение в результате маркирования было зрительно неотличимо от исходного изображения-контейнера [3].

Эффективным решением защиты авторского права для проверки правообладателя цифровых изображений, видео- и звукозаписей является организация обеспечения аутентичности за счет встраивания цифровых водяных знаков (ЦВЗ) [4]. Отличительной особенностью файлов является возможность сжатия данных, позволяющая при сохранении встроенной информации значительно уменьшить объем мультимедийных файлов.

Многие распространенные форматы (JPEG, MP3) используют сжатие с потерями. Существующие методы и алгоритмы скрытия информации либо не устойчивы к сжатию полностью, либо будут сохранять скрытые данные при незначительных степенях сжатия [5, 6, 7]. В результате этого вопрос создания стеганографического метода, устойчивого к сжатию и искажениям, является актуальным.

В данной статье проведен анализ популярных методов стеганографии скрытия данных в цифровые изображения. Показано преимущество использования частотных методов, устойчивых к сжатию с потерями, над пространственными.

Цель исследования и постановка задачи

Исследователи разных стран уделяют с каждым днем все больше внимания разработке эффективных методов цифрового маркирования для защиты изображений, в результате чего количество публикаций по данной теме постоянно увеличивается. Стеганосистеме, использующей неподвижные изображения в качестве контейнера, необходимо выполнять основные требования:

– свойства изображения-контейнера должны быть модифицированы таким образом, чтобы изменения было невозможно определить визуальной атакой;

– стеганоконтейнер должен быть устойчив к различным внешним искажениям и сжатию с потерей информации.

Целью данной работы является анализ и исследование методов и алгоритмов скрытия данных в цифровых изображениях на основе дискретного косинусного преобразования (ДКП) и дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) для стандартов сжатия с потерями JPEG и JPEG 2000.

Для достижения цели в работе решаются следующие задачи:

– обзор существующих методов, основанных на встраивании в частотную область изображения;

– разработка блок-схемы работы алгоритма;

– математическое описание встраивания и извлечения ЦВЗ;

– экспериментальное исследование выбранного метода и сравнение результатов.

Анализ и классификация методов цифровой стеганографии

Существует множество методов встраивания ЦВЗ в цифровые изображения. Алгоритмы цифрового маркирования классифицируют по различным критериям: по степени восприятия и обратимости ЦВЗ, по способу и области встраивания ЦВЗ.

В зависимости от требуемой задачи, необходимо использовать разные методы и алгоритмы. Для подтверждения прав интеллектуальной собственности необходим алгоритм, с помощью которого будет встроен стойкий ЦВЗ, устойчивый к различным атакам на изображение-контейнер. При проверке изображений на целостность нужно применять методы, встраивающие хрупкие ЦВЗ в файлы. В результате этого такие алгоритмы чаще всего классифицируют по области, относительно которой будут применяться методы: пространственной или частотной. Такие методы имеют как преимущества в использовании, так и недостатки.

При встраивании ЦВЗ в пространственную область выполняется изменение самих пикселей изображения-контейнера. ЦВЗ встраивается в изображение за счет цветовых составляющих или модификаций яркости изображения-контейнера.

В работах [8] и [9] исследованы методы внедрения ЦВЗ в наименее значащие биты (Least Significant Bit – LSB) и метод Куттера – Джордана – Боссена (КДБ). Представленные методы имеют достаточно эффективный алгоритм внедрения ЦВЗ в графические изображения, но являются неустойчивыми к внешним атакам и сжатию, так как являются ненадежными.

В работе [10] приведена математическая модель внедрения ЦВЗ с применением модификации метода КДБ путем устойчивости к различным внешним изменениям. Алгоритм устойчивый к зашумлению изображения и позволяет встраивать большой объем данных, но не является устойчивым к сжатию.

Для маркирования контейнера в частотной области выделяют алгоритмы, основанные на ДКП, ДВП и дискретном преобразовании Фурье (ДПФ). Такие методы обладают большей устойчивостью к внешним изменениям.

Частотные методы встраивают ЦВЗ в частотную область изображения-контейнера, используя ортогональные преобразования для декомпозиции исходного изображения и перераспределения его энергии. После этого выполняется маркирование ЦВЗ в определенные спектральные коэффициенты изображения-контейнера. В результате этого наибольшая энергия исходного изображения содержится в низкочастотной области (LL), а наименьшая – в высокочастотной области (HH). Встраивать ЦВЗ необходимо в среднечастотные области (LH и HL), т. к. после сжатия с потерями информация, встроенная в высокочастотную область, будет уничтожена.

В табл. 1 приводится сравнительная характеристика популярных методов, основанных на сжатии с потерями JPEG и JPEG 2000 [11].

Таблица 1 – Анализ методов цифровой стеганографии, основанных на ДКП и ДВП

Метод	Область встраивания	ЦВЗ	Особенности алгоритма
Фридрих (J. Fridrich)	Низкочастотные и среднечастотные коэффициенты ДКП	Последовательность чисел $\{-1, 1\}$	Устойчивость к атакам, слепая схема извлечения. Сложность чтения ЦВЗ
Кох и Жао (Koch)	Поблочное ДКП (1 бит в блок 8 × 8 пикселей)	Бинарное изображение	Стойкость к компрессии, слепая схема извлечения. Визуальное ухудшение качества изображения
Барни (Barni)	ДКП всего изображения	Произвольная строка бит	Слепая схема извлечения
Хсу и Ву (Hsu-Wu)	Поблочное ДКП	Бинарное изображение (50 % исходного)	Для извлечения ЦВЗ требуется исходное изображение
Хуо-Гао (Huo-Gao)	Модификация коэффициентов HL и LH	Битовая строка	Слепая схема извлечения
Meerwald	Встраивание в коэффициенты при квантовании	Битовая строка	Высокая устойчивость к внешним воздействиям. Низкая скрытность встраивания ЦВЗ
Wang	Модификация коэффициентов HH поддиапазонов	Битовая строка	Устойчивость к внешним воздействиям. Высокая скрытность встраивания ЦВЗ

ДКП чаще применяется в стандарте сжатия JPEG, а ДВП – в стандарте JPEG 2000. Используя данные преобразования, встраивание водяных знаков может применятся как ко всему изображению, так и к отдельной области. Недостатками рассмотренных методов является низкая скрытность встраивания и сложность извлечения ЦВЗ. Большая часть методов использует слепую схему извлечения и являются устойчивыми к различным атакам.

Встраивание скрытого сообщения с помощью ДВП дает хорошие результаты, которые превосходят методы ДКП. Дальнейшая работа посвящена исследованию устойчивости метода цифровой стеганографии Коха – Жао [12] в области ДКП, так как ДКП является одним из наиболее распространенных частотных преобразований, которые используются при разработке методов и алгоритмов сокрытия информации в цифровых изображениях.

Встраивание и восстановление скрываемой информации

Алгоритм Коха – Жао (метод Koch) [13] выполняет встраивание скрытой информации в частотную область изображения-контейнера. В процессе маркирования изображение разбивается на блоки размером 8 × 8 пикселей (или на блоки 4 × 4 после модификации алгоритма), выполняется встраивание одного бита ЦВЗ в один блок частотных коэффициентов с применением ДКП. В результате преобразования формируется матрица коэффициентов размерностью 8 × 8 и 4 × 4 пикселей (рис. 1).

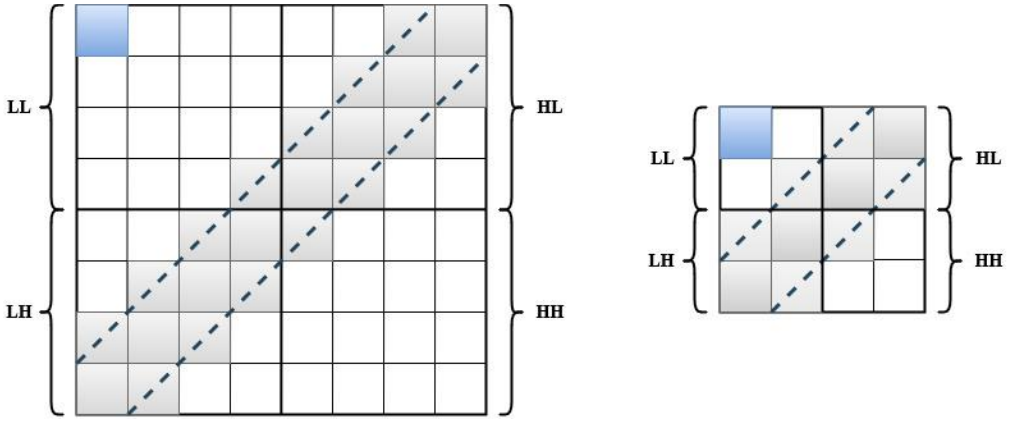


Рисунок 1 – Матрица коэффициентов 8 × 8 и 4 × 4

Первый коэффициент матрицы является постоянным и содержит данные о яркости всего блока. Низкочастотные коэффициенты содержат основную энергию изображения-контейнера, встраивание информации в данную область приводит к сильным визуальным искажениям и высокому зашумлению результирующего изображения. Высокочастотные коэффициенты являются зоной деталей изображения и содержат незначительную часть энергии, которая при сжатии подвержена удалению.

Метод Коха – Жао [14] осуществляет маркирование изображения в среднечастотной области, так как данная часть контейнера не так сильно подвергается внешним воздействиям и является менее чувствительной к различным изменениям. Этапы встраивания ЦВЗ в изображение-контейнер показаны на рис. 2.

Для встраивания водяного знака в изображения необходимы следующие действия:

– *блок «1»:* загружается ЦВЗ и исходное изображение сканируется с заданным шагом, определяется блок с наиболее однородной областью и сохраняются координаты (i, j) верхнего угла;

– *блок «2»:* текстовое сообщение преобразуется в массив (Sb), состоящий из {0, 1};

– *блок «3»:* выполняется чтение ЦВЗ (пока не будет достигнут конец файла), обработка изображения завершится, когда все биты скрытого сообщения будут встроены в частотные коэффициенты;

– *блок «4»:* на каждом шаге выбранная область с наибольшей однородностью делится на блоки C_b размерностью 8 × 8 (или применяется модификация, использующая блоки 4 × 4);

– *блок «5»:* к каждому сформированному блоку применяется ДКП, на каждой итерации встраивается один бит ЦВЗ;

– *блок «6»:* в каждом блоке псевдослучайным образом выбираются два коэффициента L1 и L2 из среднечастотной области (расположение в матрице коэффициентов является фиксированным для каждого последующего блока). Также определяется значение параметра P, которое влияет на устойчивость ЦВЗ: чем больше данное значение, тем более устойчивым будет встроенный ЦВЗ, при этом степень визуальных искажений возрастает;

– *блок «7»:* для встраивания «0» выполняется следующее условие по формуле (если условие не выполняется, необходимо увеличить модуль первого коэффициента и уменьшить – второго):

$$| L1 | - | L2 | > P \quad \rightarrow \quad | C_b(i_1, j_1) | - | C_b(i_2, j_2) | > P. \qquad (1)$$

– *блок «8»:* для встраивания «1» выполняется следующее условие по формуле (при невыполнении условия необходимо уменьшить модуль первого коэффициента и увеличить – второго):

$$| L1 | - | L2 | < -P \quad \rightarrow \quad | C_b(i_1, j_1) | - | C_b(i_2, j_2) | < -P. \qquad (2)$$

– *блок «9»:* для каждого блока выполняется обратное ДКП, значения яркостей пикселей устанавливаются в считываемый блок изображения-контейнера;

– *блок «10, 11»:* результатом считывания всего массива является изображение с ЦВЗ.

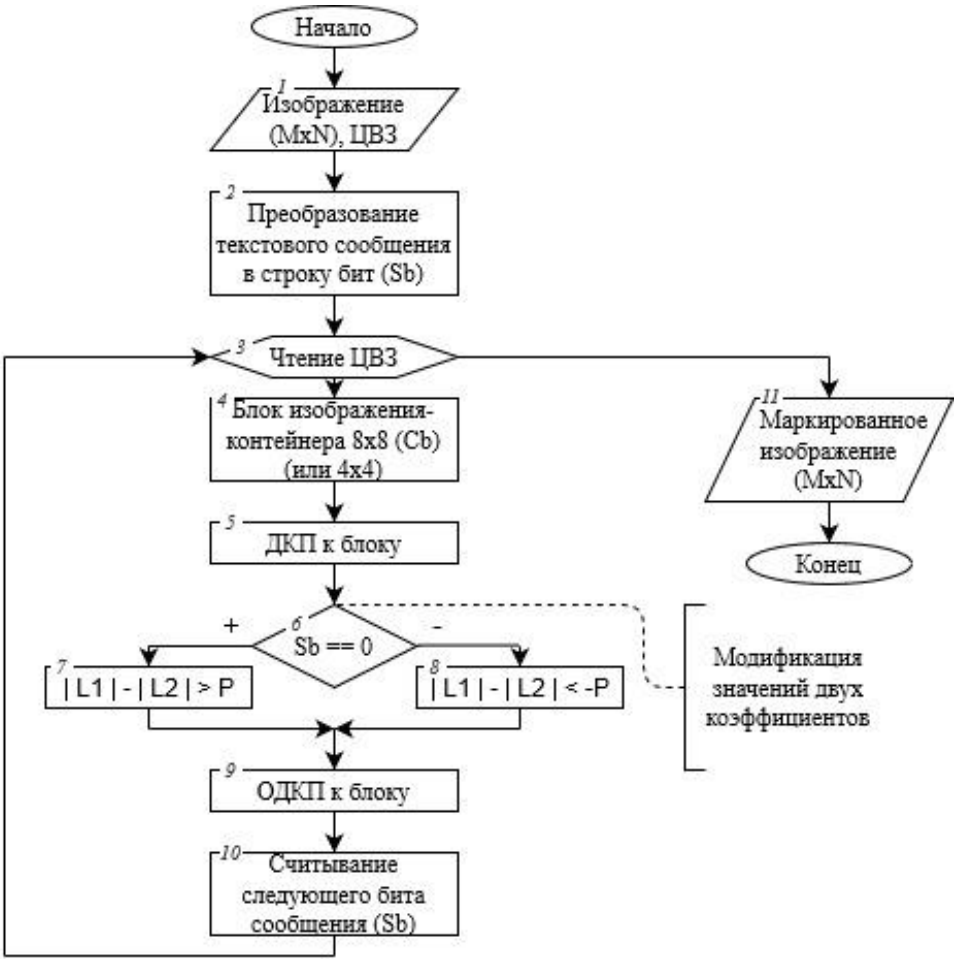


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма встраивания ЦВЗ в изображение (метод Коха – Жао)

Этапы извлечения ЦВЗ из изображения-контейнера показаны на рис. 3.

Для извлечения ЦВЗ из изображения необходимо:

– *блок «1»:* загружается маркированное изображение;

– *блок «2»:* определяются координаты (i, j) блока с наиболее однородной областью;

– *блок «3»:* обработка загруженного изображения (пока не будут проверены все блоки);

– *блок «4»:* на каждом шаге выбираются блоки C_b размерностью 8 × 8 (или применяется модификация с блоками 4 × 4);

– *блок «5»:* к каждому блоку применяется ДКП, на каждой итерации извлекается один бит ЦВЗ;

– *блок «6»:* в каждом блоке проверяются два модифицированных коэффициента L1′ и L2′ из среднечастотной области (позиции, что были при встраивании). Если условие выполняется, в данный блок был встроен «0», иначе – «1»;

– *блок «7»:* при $S_b = 0$:

$$| C_b(i_1, j_1) | > | C_b(i_2, j_2) | ; \qquad (3)$$

– *блок «8»:* при $S_b = 1$:

$$| C_b(i_1, j_1) | < | C_b(i_2, j_2) | ; \qquad (4)$$

– *блок «9, 10»:* выполняется преобразование извлеченного бита в исходный ЦВЗ и переход к следующему блоку C_b;

– *блок «11»:* результатом преобразования всех блоков контейнера является исходное ЦВЗ в виде текстового сообщения.

Устойчивость стеганографического метода можно определить с помощью таких показателей, как среднеквадратическая ошибка (Mean square error – MSE) и пиковое отношение сигнала к шуму (Peak signal-to-noise ratio – PSNR):

$$MSE = \frac{1}{mn}\sum_{i=0}^{m-1}\sum_{j=0}^{n-1}\left|X(i,j) - X_c(i,j)\right|^2, \qquad (5)$$

где X – исходное изображение;

X_c – модифицированное изображение;

$$PSNR = 10log_{10}(\frac{255^2}{MSE}). \qquad (6)$$

Величина PSNR определяет степень отличия исходного изображения-контейнера от маркированного и изменяется в дБ.

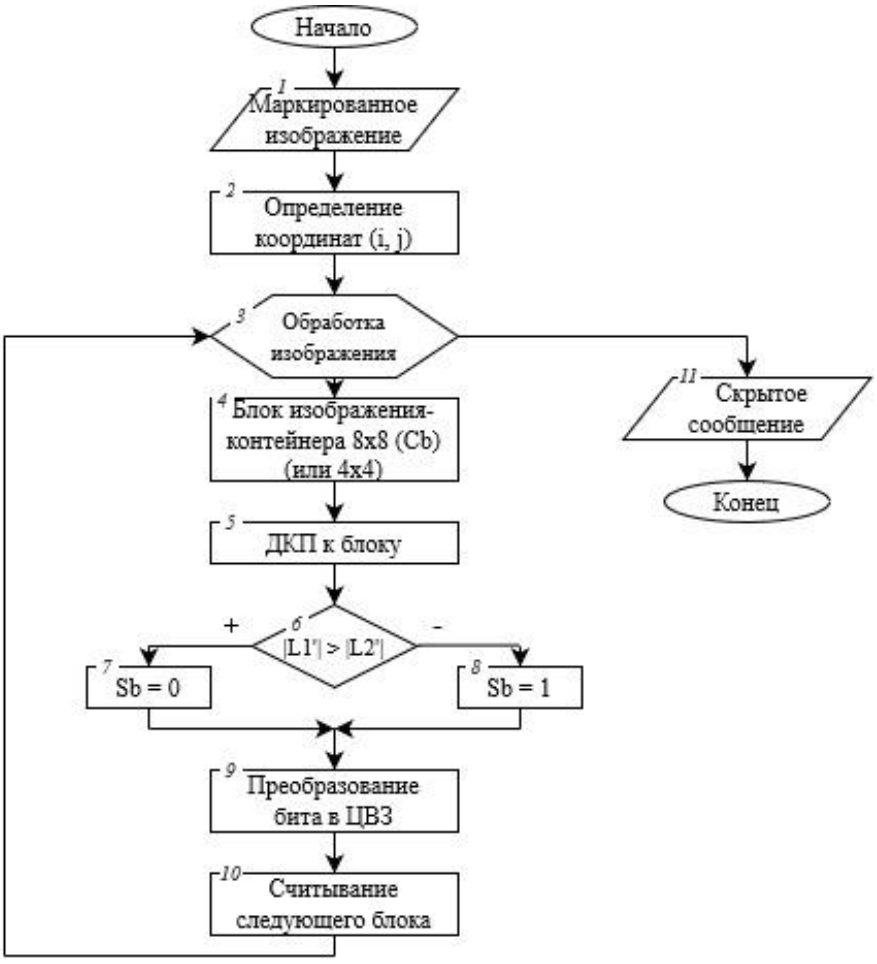


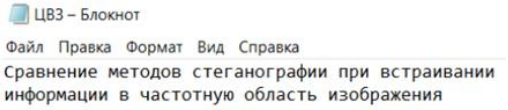
Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма извлечения ЦВЗ из изображения (метод Коха – Жао)

Экспериментальное исследование

Для проверки метода Коха – Жао и его модификации было проведено исследование на устойчивость алгоритма к различным внешним изменениям и атакам. Рассмотрены следующие атаки: зашумление изображения и сжатие с потерями и без.

В процессе исследования к стеганоконтейнеру применялись атаки с различной интенсивностью. После внешних воздействий на контейнер выполнялось восстановление встроенного ЦВЗ и сравнение с исходным изображением. На основании полученных результатов были сделаны выводы об устойчивости метода Коха – Жао к различным атакам.

Для демонстрации результатов все эксперименты проводились при одинаковых значениях. В качестве контейнера использовалось цветное изображение размером 1280 × 800 пикселей, в качестве ЦВЗ – текстовое сообщение (размер файла составляет 179 байт, количество символов сообщения – 90). На рис. 4 показаны исходный контейнер (а) и скрываемое сообщение (б).



а) б)

Рисунок 4 – Данные для исследования: а) исходное изображение (1,67 Мб); б) ЦВЗ

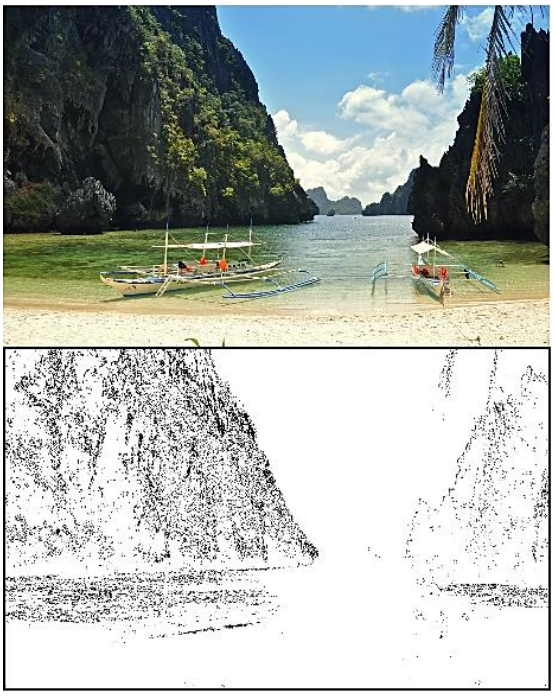
На рис. 5 отображена атака в виде шума соли и перца с шумовой плотностью 0,05 (а) и 0,02 (б).

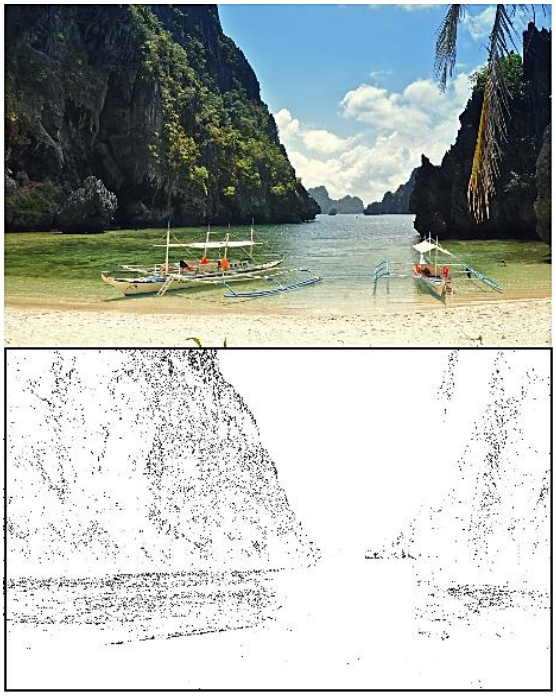
На рис. 6 показаны маркированные изображения (размер блока 8 × 8) при значении усиливающего коэффициента P = 15 (а), P = 30 (б) и позиции пикселей, значения которых были модифицированы при встраивании информационного сообщения.

На рис. 7 приведены результаты при использовании блока размером 4 × 4 при тех же значениях усиливающего коэффициента: а) P = 15; б) P = 30.

а) б)

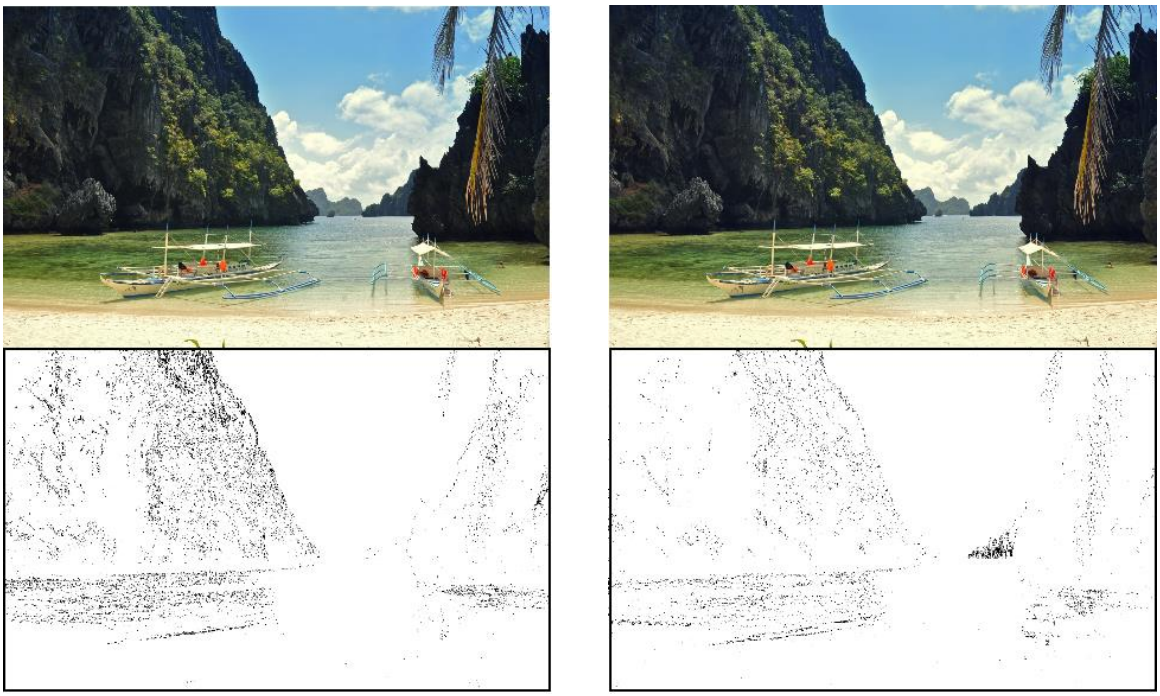
Рисунок 5 – Изображения после добавления шума: а) 5 % пикселей; б) 2 % пикселей





а) б)

Рисунок 6 – Маркированные изображения (размер блока 8 × 8): а) P = 15; б) P = 30



а) б)

Рисунок 7 – Маркированные изображения (размер блока 4 × 4): а) P = 15; б) P = 30

В табл. 2 показаны полные результаты исследования: значения PSNR, максимальные значения при сжатии с потерями и без потерь, максимально возможная степень зашумления изображений.

Таблица 2 – Результаты проведенного исследования

	Усиливающий коэффициент P = 15			Усиливающий коэффициент P = 30		
Размер блока 8 × 8	PSNR (контейнер с ЦВЗ)	52,123 дБ		PSNR (контейнер с ЦВЗ)	51,931 дБ	
	Сжатие с потерями	max 7 %	PSNR = = 31,456 дБ	Сжатие с потерями	max 9 %	PSNR = = 35,812 дБ
	Размер файла после сжатия с потерями 552 КБ			Размер файла после сжатия с потерями 537 КБ		
	Сжатие без потерь	max 92 %	PSNR = = 52,123 дБ	Сжатие без потерь	max 95 %	PSNR = = 51,736 дБ
	Размер файла после сжатия без потерь 1,62 Мб			Размер файла после сжатия без потерь 1,62 Мб		
	Шум	модификация 0,5 % пикселей		Шум	модификация 1 % пикселей	
Размер блока 4 × 4	PSNR (контейнер с ЦВЗ)	51,358 дБ		PSNR (контейнер с ЦВЗ)	51,379 дБ	
	Сжатие с потерями	max 10 %	PSNR = = 33,752 дБ	Сжатие с потерями	max 23 %	PSNR = = 45,834 дБ
	Размер файла после сжатия с потерями 565 КБ			Размер файла после сжатия с потерями 513 КБ		
	Сжатие без потерь	max 98 %	PSNR = = 51,358 дБ	Сжатие без потерь	max 98 %	PSNR = = 51,379 дБ
	Размер файла после сжатия без потерь 1,60 Мб			Размер файла после сжатия без потерь 1,60 Мб		
	Шум	модификация 1 % пикселей		Шум	модификация 2 % пикселей	

При полученных значениях извлеченное скрытое сообщение полностью соответствует встраиваемому ЦВЗ. При больших искажениях и сжатиях (с потерей информации и без) маркированного изображения-контейнера сообщение либо сильно изменяется (отображаются некоторые слова, остальная часть – различные символы), либо невозможно полностью прочитать встроенные данные.

Количество встраиваемой информации зависит от размера исходного изображения-контейнера. В данном изображении (1280 × 800 пикселей, 1,67 Мб), при использовании матрицы коэффициентов 8 × 8, максимальный объем для встраивания ЦВЗ составляет 2000 байт (около 1050 символов скрытого сообщения), а после применения блоков 4 × 4 пикселя объем значительно увеличивается до 8000 байт (более 4300 символов).

Значения пикового отношения сигнала к шуму (величина PSNR) показывают значительные отличия от исходного маркированного изображения при сжатии с потерями на 7-10 %. Более приближенной величиной является значение PSNR = 45,834 дБ в процессе сжатия на 23 %. Сжатие без потери информации во всех случаях выполнено хорошо. Данные результаты показывают, что контейнер с ЦВЗ обладает хорошей устойчивостью к таким атакам.

При добавлении шума к результирующему изображению-контейнеру, получены не такие хорошие результаты, как при сжатии. Возможно максимальное зашумление на 1-2 %. Это связано с тем, что при восстановлении скрытого сообщения учитываются определенные пиксели изображения (установленные во время маркировки). Если большая их часть была модифицирована с помощью шума, то невозможно получить данные, так как соседние пиксели изображения-контейнера не учитываются при извлечении ЦВЗ, как, например, в методе Куттера – Джордана – Боссена при использовании пространственной области.

Выводы

В результате данной работы был исследован метод Коха – Жао, использующий частотную область изображения для маркирования. Для устойчивости к различным внешним изменениям была применена модификация алгоритма в качестве использования матрицы коэффициентов размером 4 × 4.

Результаты проведенного исследования показывают качественное встраивание и восстановление ЦВЗ. Модификация алгоритма позволяет применять к маркированным изображениям сжатие с потерями (более 20 %), при этом извлечение скрытого сообщения выполняется полностью и без ошибок.

Дальнейшие исследования направлены на улучшение метода. Для этого необходимо реализовать устойчивость контейнера к различным видам шума и к применению масштабирования. Кроме устойчивости к атакам, можно увеличить максимальный объем встраиваемой информации в контейнере с помощью использования матрицы коэффициентов размером 2 × 2 пикселя.

Литература

1. Хорошко В. А. Методы и средства защиты информации: научное издание / В. А. Хорошко, А. А. Чекатков. – К.: ЮНИОР, 2003. – 505 с.

2. Cox I. J. Digital watermarking and steganography / I. J. Cox, M. Miller, J. Bloom, J. Fridrich. – San Francisco: Morgan Kaufmann Publishing, 2008. – 624 p.

3. Грибунин В. Г. Цифровая стеганография / В. Г. Грибунин, И. Н. Оков, И. В. Туринцев. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 277 с.

4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; пер. с англ. П. А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.

5. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео: учебно-справочное издание / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: «Диалог-МИФИ», 2003. – 384 с.

6. Коробейников А. Г. Оценка устойчивости ЦВЗ к внешним воздействиям, внедренных с помощью алгоритмов пространственной области встраивания / А. Г. Коробейников, О. В. Михайличенко, Н. Н. Прохожев // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. –2008. –Вып. 51. – С. 168–172.

7. Коханович Г. Ф. Компьютерная стеганография: теория и практика / Г. Ф. Коханович, А. Ю. Пузыренко. – Киев: МК-Пресс, 2006. – 286 с.

8. Крахмаль М. В. Исследование методов цифровой стеганографии для маркировки изображений цифровыми водяными знаками / М. В. Крахмаль, Т. В. Завадская // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: VI Международная научно–практическая конференция, 13–14 мая 2019 г., г. Азов. – С. 97–103.

9. Крахмаль М. В. Исследование метода встраивания цифровых водяных знаков на основе деления изображения–контейнера [Электронный ресурс] / М. В. Крахмаль, Т. В. Завадская // 69-я Международная студенческая научно–техническая конференция, Астрахань, 15–19 апреля 2019 года: материалы / –

Астрахань: Изд-во АГТУ, 2019. – Режим доступа: http://astu.org/Content/Page/5833 (дата обращения: 13.03.2020).

10. Крахмаль М. В. Исследование устойчивости стеганографических методов защиты информации при помощи цифровых водяных знаков / М. В. Крахмаль, Т. В. Завадская // Информатика и кибернетика. – 2019. – № 4 (18). – С. 14–21.

11. Сэломон Д. Сжатие данных изображений и звука / Д. Сэломон. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.

12. Демидчук А. И. Алгоритм поиска в изображениях скрытых данных, встроенных методом Коха – Жао / А. И. Демидчук, Ю. А. Чернявский // Информатика. – 2012. – № 1 (33). – С. 39–46.

13. Koch E. Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling / E. Koch, J. Zhao // IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing. – 1995. – P. 123–132.

14. Zhao J. Embedding Robust Labels into Images for Copyright Protection / J. Zhao, E. Koch // Proc. of the Int. Congress on Intellectual Property Rights for Specialized Information, Knowledge and New Technologies. – Munich, Vienna, 1995. – P. 242–252.

Завадская Т. В., Крахмаль М. В. Исследование методов стеганографии при встраивании скрытой информации в частотную область изображения. *В статье выполнен обзор основных подходов к решению задач маркирования цифровых изображений. Приведена классификация цифрового маркирования по области встраивания цифровых водяных знаков. Показаны алгоритмы и математические модели сокрытия информации при использовании дискретного косинусного преобразования. Представлены результаты исследования метода Коха – Жао на устойчивость к наиболее распространенным атакам: сжатие с потерями и без потерь, добавление шума к контейнеру. Выполнен анализ полученных результатов и намечены задачи для дальнейшего исследования.*

Ключевые слова: *цифровая стеганография, защита информации, обработка цифровых изображений, дискретное косинусное преобразование, дискретное вейвлет-преобразование, JPEG компрессия.*

Zavadskaya T., Krakhmal M. The study of steganography methods during embedding hidden information in the frequency region of an image. *An overview the main approaches to solving the problems of digital image marking are provided in the work. The classification of digital marking by the area of embedding with digital watermarks is shown. The algorithms and mathematical models of information hiding using discrete cosine transform were demonstrated. The results of the study of the Koch – Zhao method for resistance to the most common attacks: lossy compression and lossless compression, addition of noise to the container are presented. The analysis of the results received has been completed and the tasks for further research are proposed.*

Keywords: *digital steganography, information security, digital image processing, discrete cosine transform, discrete wavelet transform, JPEG compression.*

Статья поступила в редакцию 10.03.2020
Рекомендована к публикации профессором Мальчевой Р. В.

УДК 004.023, 004.42

Компьютеризированная система оптимизации потребления электроэнергии жилого дома

А. С. Усова, С. В. Хмелевой
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
anastaciy27@gmail.com, hmelevoy_sergey@ukr.net

Аннотация
В статье рассмотрена актуальность проблемы оптимизации потребления электроэнергии, проанализировано использование методов Demand Response, произведён анализ стратегий формирования нагрузки, рассмотрены классификации электрооборудования, произведён анализ подходов для оптимизации потребления электроэнергии. Проведён обзор математических методов и алгоритмов, которые можно применить для исходной задачи. Выбран генетический алгоритм, проанализировано построение генетических алгоритмов применительно к Demand Response, проанализированы виды фитнес-функций для генетических алгоритмов, предложен вид генетического алгоритма применимый для исходной задачи с учётом заданных ограничений.

Введение

Потребление энергии представляет собой неотъемлемое условие существования человечества. С развитием человечества электропотребления увеличивается вместе с объёмом добычи ресурсов для обеспечения энергетической отрасли. Ученые подсчитали, что современные электростанции однажды не смогут удовлетворить спрос на электроэнергию, ведь ежегодное потребление растет в среднем на 15-20 % [1]. Для того, чтобы в будущем избежать нехватку электрических мощностей во многих странах вводят программу Demand Response. Demand Response – это изменение потребления электроэнергии конечными потребителями относительно их нормального профиля нагрузки в ответ на изменение цен на электроэнергию во времени или в ответ на стимулирующие выплаты, предусмотренные чтобы снизить потребление в периоды высоких цен на электроэнергию на оптовом рынке или когда системная надёжность под угрозой [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Анализ литературных источников показывает, что существует целый класс проблем, относящихся к решению задачи Demand Response [3-4].

Формы нагрузки на электроэнергию могут быть скорректированы с помощью следующих методов [5-6]: peak clipping (отсечение пиков), valley filling (долина заполнения), load shifting (смещение нагрузки), load shifting (переключение нагрузки), energy efficiency (стратегическое сохранение), flexible load shape (гибкая форма нагрузки), рис. 1.

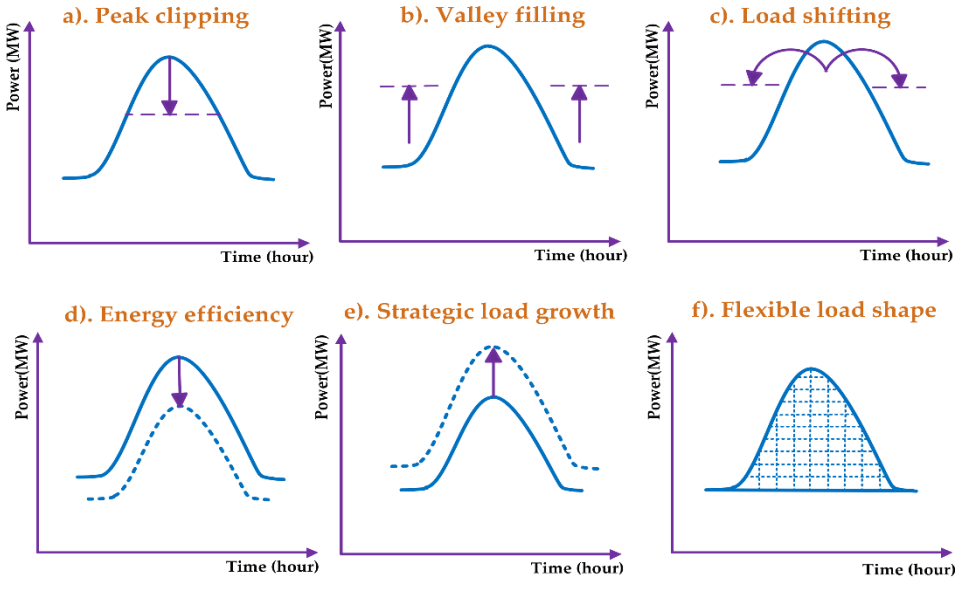


Рисунок 1 – Стратегии формирования нагрузки

Рассмотрим подробнее каждую из них.

Peak clipping (отсечение пиков) – снижение нагрузки на коммунальные услуги в основном периоды пикового спроса.

Valley filling (долина заполнения) – улучшение коэффициента загрузки системы за счет наращивания нагрузки в непиковые периоды.

Load shifting (переключение нагрузки) – снижение нагрузки на коммунальные услуги в периоды пиковой нагрузки при одновременном наращивании нагрузки в непиковые периоды.

Energy efficiency (стратегическое сохранение) – сокращение коммунальных нагрузок, более или менее одинаково, в течение всего дня или большинства его часов.

Strategic load growth (стратегический рост нагрузки) – увеличение полезных нагрузок, более или менее одинаково, в течение всего или большинства часов дня.

Flexible load shape (гибкая форма нагрузки) – относится к программам, которые устанавливают опции коммунальных услуг для изменения потребления энергии потребителями по мере необходимости, как в соглашениях о прерывании или сокращении.

Т. о., load shifting (смещение нагрузки) является наиболее эффективным и широко используемым методом для управления нагрузкой в сетях электроснабжения жилого сектора.

Наиболее значительным объектом оптимизации в жилом секторе являются домашние электроприборы. Анализ приборов по виду и регулярности включения подразумевает некоторую классификацию. В рассмотренных источниках эта классификация различна. В частности, в [7] бытовые электроприборы рассматриваются с циклическим режимом работы и термостатическим управлением. В [8] авторы производят разделение электроприборов с циклическим режимом работы и неуправляемым режимом работы. В [9] классифицируются на электроприборы, работающие в присутствии человека в доме, которые нуждаются в управлении человеком и работающие без присутствия человека в доме. В [10] авторы выделяют следующие классы электроприборов: неконтролируемые приборы, управляемые электроприборы с бесперебойной нагрузкой, управляемые электроприборы с прерываемой нагрузкой. В [11] электроприборы делят на не оптимизирующийся электроприборы, электроприборы с термостатическим управлением и с циклическим режимом работы.

На основе вышеприведенной информации в рамках данной работы предлагается разделять электробытовые приборы на следующие категории:

– не оптимизирующийся;
– с термостатическим управлением;
– с циклическим режимом работы;
– нуждающиеся в присутствии человека в доме.

Анализ литературных источников показывает, что оптимизация приборов с термостатическим управлением и приборов с циклическим режимом работы возможна и широко применяется рядом авторов.

Постановка задачи

Классической целью подобных работ является минимизация расходов на электроэнергию, кроме этого, в работах [12-15] учитываются ограничения пиковой нагрузки, для которой может быть применён один из вышеупомянутых методов (рис. 1).

Имеются M квартир в доме, и N электроприборов в каждой квартире. Для каждого управляемого электроприбора задаются пользователем: t_i – время включения i-го электроприбора, где $i = [1, \dots, N]$, и Δt_i – длительность времени работы электроприбора.

Отсюда время окончания работы электроприбора:

$$t'_i = t_i + \Delta t_i .$$

Для каждого из электроприборов можно получить функцию оценки мощности для i-го электроприбора – P_i.

Для i-го электроприбора функция оценки мощности за сутки будет равняться сумме мощностей каждого из включений, которые зависят от времени включения электроприбора и длительности времени работы электроприбора. Следовательно, можно получить следующую формулу:

$$P_t = \sum_t P_i(t_i, \Delta t) .$$

Для того, чтобы получить общую мощность P необходимо найти сумму всех P_t:

$$P = \sum P_t .$$

Стоимость потребляемой электроэнергии обозначим S. Стоимость для i-го электроприбора в сутках будет равняться сумме стоимостей электроэнергии для каждого из запусков в разное время суток:

$$S_t = \sum_t S_i(P_i, \Delta t) t_i .$$

Стоимость электроэнергии не является константой и может меняться в различное время суток (т. н. ночной тариф).

Для того, чтобы получить общую стоимость потреблённой электроэнергии *S*, необходимо найти сумму всех стоимостей по всем запускам электроприбора S_t:

$$S = \sum S_t .$$

Целью работы является минимизация суммарных затрат на электроэнергию с учетом дневного и ночного тарифа:

$$S \to \min .$$

Это достигается благодаря смещению времён включения электроприборов. Т. о., чтобы максимальное время соседних включении было меньше, чем максимальное время ограничения выключения электроприбора:

$$\max(t_i - t_{i+1}) < t_{\max} .$$

Методы, применяемые для оптимизации

В изученных источниках для оптимизации потребления электроэнергии использовались следующие методы: метод роя частиц (BPSO), алгоритм решения задачи линейного программирования методом внутренней точки, генетический алгоритм (ГА), жадный алгоритм.

В методе роя частиц (BPSO) каждая частица представляет потенциальное решение проблемы. Поведение частицы в гиперпространстве поиска решения все время подстраивается в соответствии со своим опытом и опытом своих соседей. Каждая частица помнит свою лучшую позицию с достигнутым локальным лучшим значением фитнес-функции и знает наилучшую позицию частиц – своих соседей, где достигнут глобальный на текущий момент оптимум. Данный метод был применён авторами в [10]. В работе представлена стратегия управления спросом, основанная на методе планирования нагрузки электросети на день вперед. Планирование домашних устройств приведено таким образом, чтобы исключить пиковые значения потребления электроэнергии и минимизировать счета за электроэнергию. Частица представляет собой двумерный массив из 0 и 1. Строчки, в которых представляют отдельные электроприборы, столбцы – номер часа. 0 – выключение электроприбора в заданный час, 1 – включение. Частица развёртывается в вектор: S = [S1, S2, S3, …, S23, S24].

Линейное программирование – это методы решения экстремальных задач на множествах *n*-мерного векторного пространства, задаваемых системами линейных уравнений и неравенств. Согласно методам внутренней точки исходную для поиска точку можно выбирать только внутри допустимой области. При этом множество точек делится на допустимые и недопустимые в зависимости от ограничений. Множество допустимых точек в зависимости от ограничений также делится на граничные и внутренние. Авторы в [11] рассматривают задачу оптимизации энергопотребления домохозяйства, без альтернативных источников энергии, путем построения оптимального графика использования бытовых приборов. По классификации, предложенной в [16], эта задача сводится к основной задаче целочисленного программирования и предлагается алгоритм ее решения методом внутренней точки. Целевая функция исходной задачи определяется как суммарная стоимость потребленной энергии. Оптимизируются моменты включения и выключения приборов в рамках разбиения на номера временных интервалов, осуществленных заранее.

В жадном алгоритме процесс принятия решения можно разбить на элементарные шаги, на каждом из которых принимается отдельное решение. Решение, принимаемое на каждом шаге, должно быть оптимальным только на текущем шаге и должно приниматься без учета предыдущих или последующих решений. Данный алгоритм разделяет задачу на меньшие подмножества той же проблемы. Авторы в [17] рассматривают обширные стратегии управления спросом с использованием жадного алгоритма. В работе анализируется планирования потребления электроэнергии бытовыми приборами в домашней сети. Цель предлагаемого планирования состоит в том, чтобы минимизировать общие расходы на электроэнергию для потребителя и сбалансировать нагрузку сети.

Генетический алгоритм – адаптивный метод поиска, который используются для решения задач функциональной оптимизации. Основан на механизмах и моделях эволюции, и генетических процессов биологических алгоритмов.

В данной работе предлагается оптимизировать потребления электроэнергии с помощью генетического алгоритма.

Генетические алгоритмы применяются для решения задач Demand Response большим количеством авторов [15, 17-21]. Генетический алгоритм применяют для минимизации денежных затрат на электроэнергию для домашних хозяйств [12-14], для офисных секторов [13], для промышленных [14]. ГА применяют для снижение пиковой нагрузки на электросеть [14-18]. Также для оптимизации расхода электроэнергии могут применяться различные ограничения [12, 15, 18], в частности, учтён комфорт пользователя (по времени включения электроприборов) [15, 18].

Полученные результаты моделирований в приведённых выше работах показывают, что ГА эффективен в поставленной задаче.

Предлагаемое решение

В данной работе предполагается, что в многоквартирном доме, в условиях ОСМД, устанавливается в каждой квартире микроконтроллер, который будет управлять электроприборами. При этом оплата за электроэнергию начисляется по двум тарифам: ночному и дневному. В свою очередь пользователи дают информацию администратору об электроприборах, которые будут регулироваться. А именно, наименование электроприбора и его потребляемую мощность. Также пользователи составляют расписание (часы работы) для своего электрооборудования в квартире. В свою очередь компьютеризированная система будет распределять время работы для электроприборов с термостатическим управлением и с циклическим режимом работы.

Поэтому в данной работе для решения поставленной задачи будет применён генетический алгоритм. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2.

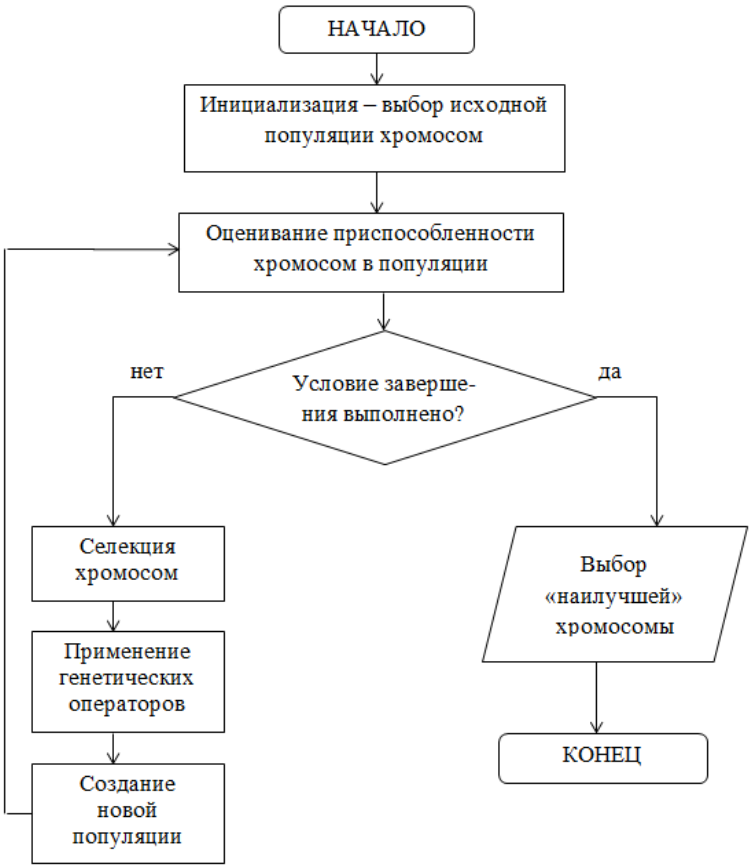


Рисунок 2 – Блок–схема генетического алгоритма

Как видно из рис. 2 для определения генетического алгоритма необходимо задать следующие параметры: способ кодирования, генетические операторы (кроссинговер, мутация, репродукция), задание фитнес-функции.

Практически во всех изученных источниках [12-15, 17, 19] кодирование хромосомы применялось одинаковое, а именно хромосомы рассматриваются как массив битов, которые представляют состояние включения (равно 1) или выключения (равно 0) электроприборов.

Предлагаем использовать следующую кодировку [15] каждая хромосома состоит из восьмибитового шаблона, так что каждое устройство использует определенный битовый шаблон, относящийся к его идентификатору класса, идентификатору устройства, биту планирования, прерываемому или непрерываемому биту и биту приоритета. На основе рабочего состояния устройства отслеживается его почасовая стоимость. В каждом классе каждый атрибут использует один бит, за исключением идентификатора класса и расписания устройства, которые используют трёхбитные и двухбитные шаблоны соответственно (рис. 3).

Class ID	Appliance ID	Appliance schedule	Interruptible or not	Priority bit
2	1	3	1	1
00	0	000, …, 111	1	0
11	1	000, …, 111	1	1

Рисунок 3 – Кодирование хромосом

Поскольку в исследуемой работе используется стандартный генетический алгоритм практически во всех источниках, генетические операторы – стандартные двоичные кроссинговер, мутация, классическая репродукция.

Рассмотрим параметры генетических алгоритмов. Вероятность скорости кроссинговера является очень важным управляющим параметром и напрямую зависит от скорости конвергенции. Большое значение скорости пересечения означает быструю сходимость за счет точности. В [20] упоминается, что наилучшей скоростью кроссинговера для задачи оптимизации является $P_c = 0{,}9$. А для того, чтобы избежать повторений в популяции, авторы используют процесс мутации. Он изменяет один или несколько генов в хромосоме от ее начального состояния. Вероятность мутации очень мала, что определяется следующей формулой:

$$P_m = \frac{1 - P_c}{10}.$$

Из этого следует что большая скорость кроссинговера означает более быструю сходимость, а большая скорость мутации означает потерю хорошего решения и вызывает преждевременную сходимость алгоритма. Т. о., для достижения лучших результатов вероятность скорости кроссинговера высока, а частота мутаций низка.

В [21] кроссинговер имеет несколько типов: точечный, многоточечный и равномерный. А также рассматривается вид репродукции методом колеса рулетки. В [14] используются точечный кроссинговер и бинарная мутация. Также применяется элитизм для запоминания наилучшего решения и передается от одного поколения к другому. Отбор на основе турнира используется для формирования новой популяции из существующих, и алгоритм завершается при выполнении критериев генерации.

В ГА используются четыре основных метода для учета накладываемых ограничений при решении оптимизационных задач. Простейшим способом является метод отклонения (отбрасывания), где недопустимые хромосомы (не удовлетворяющие ограничениям) исключаются из дальнейшей эволюции, такой способ рассматривается в [12, 18]. Второй метод основан на использовании процедуры восстановления, которая преобразует полученное недопустимое решение в допустимое (в рамках данного обзора работ найдено не было). Третьим методом является применение проблемно – ориентированных генетических операторов, которые порождают только допустимые решения (не применим в рассматриваемой задаче). И четвертый способ – применение штрафных составляющих к фитнес-функции, данный способ рассматривается в [15].

Генетический алгоритм был применён во многих исследовательских работах для оптимизации потребления электроэнергии, в каждой работе были выведены свои фитнес-функции, рассмотрим подробнее каждую из них.

В работе [19] применена фитнес-функция общей стоимости энергопотребления за интервал планирования стремящаяся минимизировать суммарные затраты на электроэнергию:

$$C = \sum_{h=1}^{H} p^x \cdot \sum_{l \in L} X_l^x \to \min,$$

где C – суммарная стоимость электроэнергии;

X_l^x – запланированное потребление энергии прибором;

l – нагрузка электроприбора, где $l \in L$;

L – запланированная нагрузка на сутки;

h – единица времени, продолжительность $h = 1$ час, $h \in H$;

H – горизонт планирования, где $H = 24$ часа;

p^h – тариф на электроэнергию в каждый час.

В [15] фитнес-функция общей стоимости энергопотребления стремится минимизировать суммарные затраты на электроэнергию с учётом штрафных ограничений. Под минимизацией расходов понимаются минимальные затраты на потребляемую электроэнергию:

$$Min = \sum_{i=1}^{N} \sum_{t=1}^{T} X_{i,t} \cdot PR_{i,t};$$

$$X_{i,t} = \begin{cases} 0, \text{ если } t \in H_1; \\ 1, \text{ если } t \in H_2; \end{cases}$$

$$1 \le t \le T;$$

$$1 \le i \le N;$$

где $X_{i,t}$ – текущее состояние электроприбора, $X_{i,t} = 1$ – включен, если $X_{i,t} = 0$ – выключен;

$PR_{i,t}$ – стоимость электроэнергии, потребленной в течение любого интервала времени t, который является показателем времени, верхнего предела T ($T = 24$) часа в сутки;

H – представляет собой горизонт планирования работы электроприборов, время 24 часа в сутки, включая *PHs* (пиковые часы) и *OPHs* (непиковые часы). $H = \{1, 2, \ldots, T\}$. При

этом $H_1 = \{7, 8, 9, 10\}$ включает *PHs* часы, $H_2 = \{H / H_1\}$ – *OPHs;*

i – обозначает порядковый номер электроприбора, который принимается как N – число оптимизирующийся электроприборов.

В работе [15] применяются раннее рассмотренные штрафные составляющие к фитнес-функции. Расписание работы электроприборов моделируется с точки зрения минимальной задержки электроприборов и оптимальных сумм оплаты за электроэнергию. Рассмотрим подробнее, в этом примере максимизируют экономию электроэнергии и комфорт пользователя. Для минимизации разочарованности пользователей вводится приоритетность электроприборов. Приборы с высоким приоритетом планируются в первую очередь через доступные интервалы непиковых часов. Включение оборудования с низким приоритетом может быть отменено или отложено вовремя пиковый часов. Т. о., время ожидания приборов сводится к минимуму, а комфорт пользователя достигается максимально. Получаем следующие уравнения:

$$Maximize(EappUtil + EcostSavings);$$

$$EappUtil = (\alpha - (\frac{delay}{24}));$$

$$0,3 \le \alpha \le 0,7;$$

$$1 \le delay \le 4;$$

$$EcostSaving = \beta \cdot (\frac{\cos t}{100}) \cdot (\frac{Sch_cost}{Max.cost});$$

$$0,3 \le \beta \le 0,7;$$

$$\alpha + \beta = 1;$$

где *EcostSavings* – сэкономленная электроэнергия;

EappUtill – полезность бытовой техники (на сколько пользователю удобна работа прибора в конкретное время, измеряется от 0 до 1);

α и β – переменные задержки. Согласно ограничению, сумма α и β равна единице, поскольку комфорт пользователя колеблется между нулем и единицей;

delay – функция задержки, и в исходном сценарии она ограничена 4 часами. Следует отметить, что эти 4 часа выбираются из пиковых часов для уточнения максимальной задержки приборов.

cost – это функция стоимости, и ее значения находятся между 20 % и 70 %. Ниже 20 %, его значения не принимаются в расчёт, стоимость незначительна; и более 70 % стоимости используются для микросетей.

Sch cost – стоимость приборов в течение всего дня. Рассчитывается по битам состояния устройства х номинальная мощность;

Max.cost – стоимость пиковых часов дня.

Значения *α, β, delay* и *Sch_cost* берутся из работы [9].

Учитывая вышеперечисленные критерии, фитнес-функция имеет следующий вид:

$$Minimize(c_1 \sum_{i=1}^{N} \sum_{t=1}^{T} x_{i,t} \cdot PR_{i,t}) + \\ + c_2 \frac{1}{EappUtil + EcostSavings},$$

где $c_1 = c_2 = 0{,}05$.

В данной фитнес-функции сохраняются все вышеперечисленные ограничения.

В [12] фитнес-функция стремится минимизировать общие затраты на электроэнергию. Общая стоимость, *TC* за весь период планирования является суммой комбинации пиковых и внепиковых затрат каждой *i*-ой задачи:

$$MIN(TC) = \sum_{i=1}^{i=N} TP_i + \sum_{i=0}^{i=N} TO_i ,$$

где *TC* – общие затраты на электроэнергию, кВт;

TP – стоимость работы оборудования в пиковые часы;

TO – стоимость работы оборудования в непиковые часы;

i – индекс задачи;

N – количество управляемого электрооборудования.

В данной работе ограничения осуществляются ранее рассмотренным методом отклонения. В процессе оптимизации выполняются следующие ограничения.

Баланс нагрузки системы: поскольку существует предел мощности нагрузки в цепи, в любое время *t*, общая нагрузка системы (R_i) не может быть выше *LM*. *LM* – максимальная нагрузка мощности в доме:

$$\sum_{i \in SET} R_i < LM .$$

Существует ограничение времени запуска для каждой задачи:

$$\forall_i \in N,$$

$$SS_i > S_i,$$

где SS_i – запланированное время начала выполнения *i*-ой задачи;

S_i – самое раннее время начала *i*-ой задачи.

Существует ограничение времени завершения для каждой задачи:

$$\forall_i \in N,$$

$$SF_i > F_i,$$

где SF_i – запланированное время завершения i-ой задачи;

F_i – самое позднее время окончания i-ой задачи.

Задача, которая уже была запущена, не может быть вытеснена другими задачами в расписании.

К заданной задаче раннее приведённые примеры являются малоприменимы, т. к. рассматривается оптимизация потребления электроэнергии только жилого сектора, при этом в исследуемой задаче всего два тарифа стоимости электроэнергии – дневной и ночной тарифы. А также рассматривается пиковая нагрузка, которая будет влиять на оптимизацию фитнес-функции.

Снижение пиковой нагрузки потребления электроэнергии предлагается решать методом load shifting:

$$\forall \max(P_i) < limit\ .$$

Этого можно добиться путем выключения наименее приоритетных электроприборов в часы максимального потребления или путем включения их в более раннее или позднее время.

В связи с этим вводится понятие приоритета электроприборов – *Pr*. Приоритет электроприборам назначается по их классификации:

– приоритет неуправляемых электроприборов: $Pr = 1$;

– приоритет электроприборов с термостатическим управлением: $Pr = 2$;

– приоритет электроприборов с циклическим режимом работы: $Pr = 3$.

Т. о., наименьшее значение приоритета, при котором $Pr = 1$ имеет наивысший приоритет.

Внутри групп классификаций каждому электроприбору назначается приоритет.

Введём следующее ограничение: если суммарное потребление мощности электроприборов превышает значение максимальной мощности, то среди всех включённых электроприборов отключается электроприбор с наименьшей приоритетностью:

$$\text{если} \sum_i P \le \max P,$$

$$\text{и } \forall Pr_i = \max, Vkl_i = 1,$$

$$\text{то } Vkl_i = 0,$$

где Vkl_i – это текущее состояние электроприбора: $Vkl_i = 1$ – включен, $Vkl_i = 0$ – выключен.

Вышеприведённые ограничения, в частности приоритет электроприбора предлагается свести к ограничениям комфорта пользователя, как в работе [9], а именно:

$$Max(EappUtil + EcostSavings);$$

$$EappUtil = (\alpha - (\frac{delay}{24}));$$

$$0,3 \le \alpha \le 0,7;$$

$$1 \le delay \le 4;$$

$$EcostSavings = \beta \cdot (\frac{cost}{100}) \cdot (\frac{Sch_cost}{TimeCost});$$

$$0,3 \le \beta \le 0,7;$$

$$\alpha + \beta = 1;$$

где α и β – переменные задержки;

EcostSavings – сэкономленная электроэнергия;

EappUtil – полезность бытовой техники (насколько пользователю удобна работа прибора в конкретное время, измеряется от 0 до 1);

delay – функция задержки, и в исходном сценарии она ограничена четырьмя часами;

cost – это функция стоимости, и ее значения находятся между 20 % и 70 %. Ниже 20 % значения не принимаются в расчёт, стоимость незначительна; и более 70 % стоимости используются для микросетей;

Sch_cost – стоимость мощности приборов в течение всего дня, рассчитывается по битам состояния устройства *x*, номинальная мощность;

TimeCost – текущая стоимость электроэнергии, потребленной в течение времени t, $t \in T$.

T – горизонт планирования, $T = 24$.

Значения α, β, *delay* и *Sch_cost* берутся из [9].

С учётом вышеприведённого анализа, предлагаем следующую реализацию фитнес-функции, которая будет стремиться минимизировать затраты на электроэнергию:

$$MinS(c_1 \sum_{i=1}^{N} \sum_{t=1}^{T} Vkl_{i,t} \times TimeCost_{i,t}) +$$

$$+c_2 \frac{1}{EappUtill + EcostSavings},$$

где i – индекс электроприбора;

N – количество электроприборов;

$Vkl_{i,t}$ – текущее состояние электроприбора, если $Vkl_i = 1$ – включен, если $Vkl_i = 0$ – выключен;

$TimeCost_{i,t}$ – текущая стоимость электроэнергии, потребленной в течение любого интервала времени t, $t \in T$.

T – горизонт планирования, $T = 24$;

EcostSavings – экономия электроэнергии выраженная в процентах;

EappUtill – полезность бытовой техники (на сколько пользователю удобна работа прибора в конкретное время, измеряется от 0 до 1);

$c_1 = c_2 = 0{,}05$.

В полученной фитнес-функции размер штрафных ограничений сопоставим с размером энергопотребления самой фитнес-функции.

По проведенному анализу получаем следующий псевдокод для оптимизации потребления электроэнергии многоквартирного дома, с заданными ограничениями. Алгоритм представлен на рис. 4.

```
Вход: набор приборов Ni или P(популяция);
Инициализация: Vkli = 0,1, PHs, OPHs, t = 0, H.;
for t = 1toT do
  for h = 1toH do
    Генерация выполнимого P случайным
    образом;
    for h = 1toP do
      Рассчитать фитнес-функцию;
      Выберите лучшие решения в P, pop и
      сохраните их в новом pop1;
      Проверьте состояние i, используя PHs и
      OPHs, в то время как LOT, Vkli = 1 и li = li-1;
      if t == PHs, then
        ждать, пока OPHs;
        if EnergyConsump == высокая, then
          Проверьте Vkli приборов;
          else
            Проверьте оставшиеся t всех Ni,
            LOT до 0;
          end
        end
      end
    end
    Генерирование новой популяции;
    Выполните операцию кроссовера путем
    случайного выбора двух хромосом из P;
    Сохраните его в pop2;
    Выполнить операцию мутации;
    Выберите решение из pop2;
    Мутируйте каждый бит решения и
    генерируйте новое решение;
    if решение неосуществимо, then
      Обновите решение с помощью
      возможного решения путем
      восстановления решения;
      Обновить решение с помощью
      решения в pop2;
    end
    Обновить pop лучшее решение;
    Обновление t = t + 1 до 24 часов;
    Прекращать, когда t = 24 ч;
  end
end
```

Рисунок 4 – Алгоритм псевдокода для ГА

По предложенному псевдокоду достаточно просто выполнить программную реализацию, позволяющую оптимизировать энергопотребление многоквартирного дома с учётом ограничений по максимальному пиковому энергопотреблению.

Выводы

В данной работе по оптимизации потребления электроэнергии жилого дома проанализировано использование методов Demand Response, из заданных методов выбран генетический алгоритм по следующим причинам:

– прост и прозрачен в реализации;

– присутствуют хорошие параллельные возможности;

– быстрее и эффективнее по сравнению с традиционными методами;

– отличается эффективностью, когда пространство поиска очень велико и задействовано большое количество параметров.

Проанализировано построение генетических алгоритмов применительно к Demand Response, проанализированы виды фитнес-функций для генетических алгоритмов, предложен вид генетического алгоритма применимый для исходной задачи с учётом заданных ограничений.

Литература

1. Зачем надо экономить электроэнергию [Электронный ресурс] // Ася Малютина. – Электрон. текст. – [Россия, 2015]. – Режим доступа: https://recyclemag.ru/article/zachem-nado-ekonomit-elektro.- Заглавие с экрана.

2. National Assessment & Action Plan on Demand Response – 2016 – URL: https://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/demand-response/dr-potential.asp (дата обращения: 20.03.2020). – Текст: электронный

3. Na Li, Lijun Chen and Steven H. Low Optimal Demand Response Based on Utility Maximization in Power Networks Power and Energy Society General Meeting // IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2011. – p. 1–8.

4. Dehnavi E, Abdi H. Optimal pricing in time of use demand response by integrating with dynamic economic dispatch problem // Energy 109, 2016. – p. 1086-1094.

5. Kishor C. Muley, Sandeep Bhongade Load Management Techniques and Pricing Model for Demand Side Management // International Journal on Emerging Technologies 10 (1) 2019. – p. 42-46.

6. Mohamed AboGaleela, Magdy El-Marsafawy, Mohamed El-Sobki Optimal Scheme with Load Forecasting for Demand Side Management (DSM) in Residential Areas // Energy and Power Engineering, Vol. 5, 2013. – p. 889-896.

7. Lujano-Rojas JM, Monteiro C, Dufo-López R, Bernal-Agustín JL. Optimum residential load man-agement strategy for real time pricing demand response programs // Energy policy, Vol. 45, 2012. – p. 671–679.

8. Bradak Z., Kaczmarczyk V., Fiedler P. Optimal scheduling of domestic appliances via MILP // Energies, Vol. 8, Iss. 1. 2015. – p. 217-232.

9. Mahmood D.; Javaid N.; Alrajeh N.; Khan Z.A.; Qasim U.; Ahmed I.; Ilahi M. Realistic scheduling mechanism for smart homes // Energies Vol. 9, 2016, – p. 202.

10. Kumar, K. S. S., Naik, M. G.: Load Shifting Technique on 24Hour Basis for a Smart-Grid to Reduce Cost and Peak Demand Using Particle Swarm Optimization // IRJET, Vol. 04, 2017. – p. 1180–1185.

11. Гребенюк Г. Г., Крыгин А. А. Оптимизация энергопотребления домохозяйства на основе прогноза графика максимальной нагрузки бытовых приборов. - Управление большими системами: сборник трудов 69, - 2017.

12. Hui Miao, Xiaodi Huang, Guo Chen. A Genetic Evolutionary Task Scheduling Method for Energy Efficiency in Smart Homes // International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.), Vol. 7, N 5, 2012 – p. 5897-5904.

13. Nusrat Shaheen, Nadeem Javaid, Najmun Nisa, Amber Madeeha Zeb, Zahoor Ali Khan, Umar Qasim. Appliance Scheduling for Energy Management with User Preferences // International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing 10th. 2016. – p. 328–334.

14. M. Awais, N. Javaid, N. Shaheen, Z. Iqbal, G. Rehman, K. Muhammad, I. Ahmad. An Efficient Genetic Algorithm Based Demand Side Management Scheme for Smart Grid // COMSATS Institute of Information Technology. 2015. - p. 351-356.

15. Javaid N., Javaid S., Abdul W., Ahmed I.; Almogren A., Alamri A., Niaz I. A. A Hybrid Genetic Wind Driven Heuristic Optimization Algorithm for Demand Side Management in Smart Grid // Energies, Vol. 10, N 319, 2017, - p. 1-7.

16. Albadi M.H., El-Saadany E.F. A summary of demand response in electricity markets // Electric Power Systems Research, Vol. 11, Iss. 78, 2008. – p. 1989–1996.

17. Cui, Tiansong, Hadi Goudarzi, Safar Hatami, Shahin Nazarian, and Massoud Pedram. Concurrent optimization of consumer's electrical energy bill and producer's power generation cost under a dynamic pricing model // IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2012. – p. 1-6.

18. R. R. El-Razky, A. A. Daoud and K. El-serafi, Optimization of Residential Load Consumption during Energy Peaks using Smart Metering // Renewable Energy and power quality journal (RE&PQJ), Vol.1, N 15, 2017. – p. 227-232.

19. Oladeji O., Olakanmi O. O. A genetic algorithm approach to energy consumption scheduling under demand response // IEEE 6th International Conference on Adaptive Science & Technology (ICAST), 2014. – p. 1-6.

20. Mudassar Naseem, Nadeem Javaid Heuristic Algorithm based Home Energy Management System in Smart Grid. In “Electrical Engineering COMSATS Institute of Information Technology Islamabad” – 2016. – Pakistan, p. 15-63.

21. Urva Latif, Nadeem Javaid, Syed Shahab Zarin, Muqaddas Naz, Asma Jama, Abdul Mateen. Cost Optimization in Home Energy Management System using Genetic Algorithm, Bat Algorithm and Hybrid Bat Genetic Algorithm // IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications 1550-445X/ 2018. – p. 667-677.

Усова А. С., Хмелевой С. В. Компьютеризированная система оптимизации потребления электроэнергии жилого дома. *В статье рассмотрена актуальность проблемы оптимизации потребления электроэнергии, проанализировано использование методов Demand Response, произведён анализ стратегий формирования нагрузки, рассмотрены классификации электрооборудования, произведён анализ подходов для оптимизации потребления электроэнергии. Проведён обзор математических методов и алгоритмов, которые можно применить для исходной задачи. Выбран генетический алгоритм, проанализировано построение генетических алгоритмов применительно к Demand Response, проанализированы виды фитнес-функций для генетических алгоритмов, предложен вид генетического алгоритма применимый для исходной задачи с учётом заданных ограничений.*

Ключевые слова: *Demand Response, генетический алгоритм, оптимизация работы электроприборов, оптимизация электроэнергии*.

Usova A., Hmelevoy S. Computerised system optimization of electricity consumption of residential buildings. *The article considers the relevance of the problem of optimizing electricity consumption, analyzes the use of Demand Response methods, analyzes load generation strategies, considers the classification of electrical equipment, and analyzes approaches to optimize electricity consumption. An overview of mathematical methods and algorithms that can be applied to the original problem is given. A genetic algorithm is selected, the construction of genetic algorithms in relation to Demand Response is analyzed, the types of fitness functions for genetic algorithms are analyzed, and the type of genetic algorithm applicable to the original problem is proposed, taking into account the specified restrictions.*

Keywords: *Demand Response, genetic algorithm, optimization of electrical appliances, optimization of electricity.*

Статья поступила в редакцию 20.03.2020
Рекомендована к публикации профессором Аноприенко А. Я.

UDC 004.9

Multifractal detrended fluctuation analysis in Octave for ECG data

D. V. Belkov, E. N. Edemskaya, L. A. Lazebnaya, V. N. Boyko
Donetsk National Technical University, Donetsk
belkovdv@list.ru

Annotation
Measuring the electrical impulses of the heart through an electrocardiogram (ECG) has become the primary method for detecting problematic heart conditions such as heart attacks or cardiac arrhythmia. Gaining more insight into the dynamical behavior of heartbeat irregularities would have meaningful applications in cardiology, especially if an "irregular" heartbeat could be characterized as being monofractal or multifractal, as opposed to being merely random. Using times series from electrocardiogram data, anyone is able to apply multifractal detrended fluctuation analysis (MDFA) to investigate possible multifractal structure of ECG data. Our work is aimed to test multifractal structure in time series data from an electrocardiogram. We examine data from ECGControl program. The research is executed in Octave runtime.

Introduction

The structural characteristics of biomedical signals are often visually apparent, but not captured by conventional measures like the average amplitude of the signal. Biomedical signals from a wide range of physiological phenomena possess a scale invariant structure. A biomedical signal has a scale invariant structure when the structure repeats itself on subintervals of the signal. Formally, the biomedical signal $X(t)$ are scale invariant when $X(ct) = c^H X(t)$. Fractal analyses estimates the power law exponent, H, that defines the particular kind of scale invariant structure of the biomedical signal. Fractal analyses are frequently employed in biomedical signal processing to define the scale invariant structure in ECG. Several reports during the last decade suggest that changes in the scale invariant structure of biomedical signals reflect changes in the adaptability of physiological processes and successful treatment of pathological conditions might change fractal structure and improve health. Fractal analyses are therefore promising prognostic and diagnostic tools in biomedical signal processing.

Monofractal and multifractal structures of the biomedical signal are particular kind of scale invariant structures. Most commonly, the monofractal structure of biomedical signals are defined by a single power law exponent and assumes that the scale invariance is independent on time and space. However, spatial and temporal variation in scale invariant structure of the biomedical signal often appears. These spatial and temporal variations indicate a multifractal structure of the biomedical signal that is defined by a multifractal spectrum of power law exponents. As an example, age related changes in the scale invariant structure of heart rate variability are indicated by changes of the multifractal spectrum rather than a single power law exponent. The width and shape of the multifractal spectrum can also differentiate between the heart rate variability from patients with heart diseases like ventricular tachycardia, ventricular fibrillation and congestive heart failure [1, 2].

The aim of the work is to test multifractal structure in time series data from an electrocardiogram. The task is to examine data from ECGControl program [3, 4]. The research is executed in Octave runtime.

Description of data

The electrocardiograph has information about electrical potentials on the surface of the skin. To do this, the electrodes attached to the chest and extremities were applied. These electrodes are called leads. Up to 6 leads are typically set on the chest and extremities. Chest leads V1-V6, and denotes the leads on the limbs are called main (I, II, III) and reinforced (aVR, aVL, aVF). All the leads give a different picture of the fluctuations, but summarizing information from all the electrodes, you can find out details of the heart as a whole.

Computer console ECG Light together with the program ECGControl allows you to record the electrocardiogram in six standard leads, save as a file, print, and carry out ECG contour analysis. In the area of leads the fragment window displays the period averaged electrocardiograms, on the selected slice three standard (I, II, III) and three enhanced leads (aVR, aVL, aVF).

Having a total picture of these elements ECG you can judge the EHA (electrical heart axis), which indicates the presence of blockades and helps determine the location of the heart in the chest. There is a special coordinate system, which is located on the chest and helps to determine which side has an axis.

Electrodes ECG, respectively, are located in this coordinate system. In a healthy person the right ventricle somewhat more left, so on the ECG heart

axis deviates slightly to the right and down. It is considered to be the norm. In this case, the cardiogram is called the normogram [4, 5]. We examine the normogram from ECGControl program. Fig. 1, fig. 2 show time series for three standards (I, II, III) and three enhanced leads (aVR, aVL, aVF).

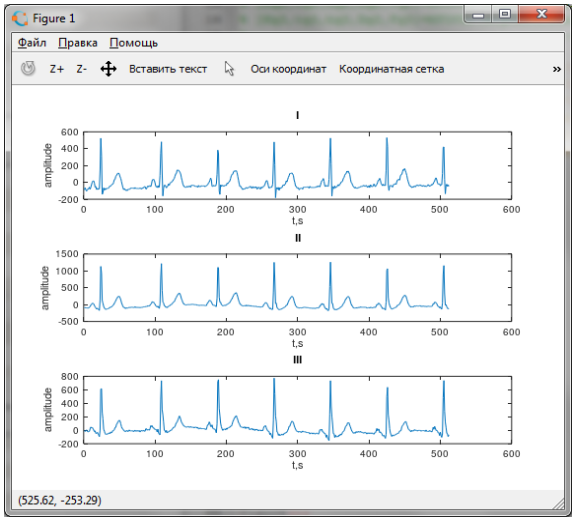


Figure 1 – Time series for standard (I, II, III) leads

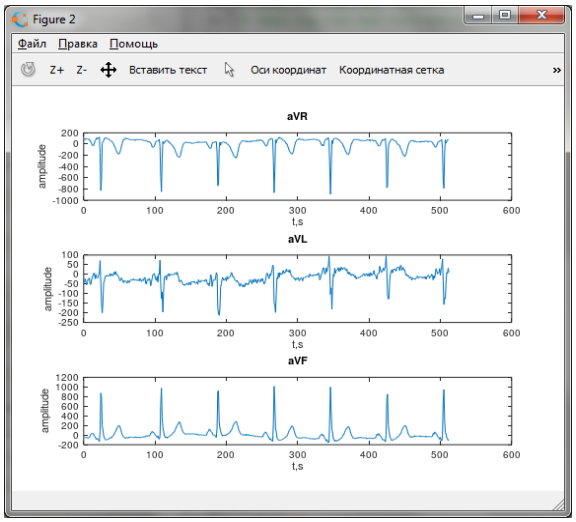


Figure 2 – Time series for enhanced leads

Description of MDFA

The structure of the monofractal and multifractal time series are different even though they have similar overall root-mean-square (RMS) and slopes *H*. The multifractal time series have local fluctuations with both extreme small and large magnitudes that is absent in the monofractal time series. The absence of fluctuations with extreme large and small magnitudes results in a normal distribution for the monofractal time series where the variation is described by the second order statistical moment (i. e., variance) alone. Monofractal detrended fluctuation analysis (DFA) is therefore based on the second order statistics of the overall RMS.

In the multifractal time series, local fluctuation, RMS(v), will be extreme large magnitude for segments v within the time periods of large fluctuations and extreme small magnitude for segments v within the time periods of small fluctuations. Consequently, the multifractal time series are not normal distributed and all q-order statistical moments should to be considered. Thus, it's necessary to extend the overall RMS in the monofractal DFA to the following q-order RMS of the multifractal DFA. The important steps involved in this method of analysis are mentioned here:

Step 1. Computing the average.

Let us suppose $x(i)$ for $i = 1, \ldots, N$, be a non-stationary time series of length N. The mean of the above series is given by

$$x_{ave} = 1/N \sum_{i=1}^{N} x(i). \qquad (1)$$

Step 2. Computing the integrated time series.

$$Y(i) = \sum_{k=1}^{t} (x(k) - x_{ave}) \text{ for } i = 1, \ldots N. \qquad (2)$$

Step 3. Dividing the integrated time series to N_s non-overlapping bins (where $N_s = \text{int}(N / s)$ and s is the length of the bin) and computing the fluctuation function. Since N is not a multiple of s, so in order to include this part of the series the entire process is repeated starting from the opposite end. Thus, $2N_s$ bins are obtained and for each bin we perform least square fit of the series and then determine the variance for each bin $v = 1, 2, \ldots, N_s$:

$$F^2(s,v) = 1/s \sum_{i=1}^{s} (Y((v-1)s+i) - y_v(i))^2 . \qquad (3)$$

The variance for each bin $v = N_s + 1, 2, \ldots, N_s$:

$$F^2(s,v) = 1/s \sum_{i=1}^{s} (Y((v-N_s)s+i) - y_v(i))^2 . \qquad (4)$$

The value $y_v(i)$ is the least square fitted value in the bin v.

Step4. Computing fluctuation function.

The q-th order fluctuation function $F_q(s)$ is obtained after averaging over $2N_s$ bins.

$$F_q(s) = 1/(2N_s) \sum_{v=1}^{2N_s} (F^2(s,v))^{q/2})^{1/q}, \qquad (5)$$

where q – is an index which can take all possible values except zero because in that case the factor $1 / q$ blow s up.

F_q can't be obtained by the normal averaging procedure; instead a logarithmic averaging procedure is applied:

$$F_0(s) = \exp(1/(4N_s)\sum_{\nu=1}^{2N_s} \ln(F^2(s,\nu)) \sim s^{h(0)}. \quad (6)$$

Step 5. The procedure is repeated by varying the value of *s*. $F_q(s)$ increases with increase in value of *s*. If the series is long range power correlated, then $F_q(s)$ will show power law behavior $F_q(s) \sim S^{h(q)}$.

If such a scaling exists $\ln(F_q(s))$ will depend linearly on $\ln(s)$, with $h(q)$ as the slope. In general the exponent $h(q)$ depends on q. For stationary time series $h(2)$ is identical with the Hurst exponent H. $h(q)$ is said to be the generalized Hurst exponent. A monofractal time series is characterized by unique $h(q)$ for all values of q.

The generalized Hurst exponent $h(q)$ of MF-DFA is related to the classical scaling exponent $\tau(q)$ by the relation:

$$\tau(q) = qh(q) - 1. \quad (7)$$

A monofractal series with long range correlation is characterized by linearly dependent q order exponent $\tau(q)$ with a single Hurst exponent H. Multifractal signal have multiple Hurst exponent and $\tau(q)$ depends non-linearly on q. The singularity spectrum $f(\alpha)$ is related to $h(q)$ by:

$$\alpha = h(q) + qh'(q); \quad (8)$$

$$f(\alpha) = q(\alpha - h(q)) + 1, \quad (9)$$

where α – is the singularity strength;

$f(\alpha)$ – specifies the dimension of subset series that is characterized by α.

The multifractal spectrum is capable of providing information about relative importance of various fractal exponents in the series e. g., the width of the spectrum denotes range of exponents. A quantitative characterization of the spectra may be obtained by least square fitting it to a quadratic function around the position of maximum α_0.

$$f(\alpha) = A(\alpha - \alpha_0)^2 + B(\alpha - \alpha_0) + C, \quad (10)$$

where C – is an additive constant $C = f(\alpha_0) = 1$;

B – indicates the asymmetry of the spectrum. It is zero for asymmetric spectrum.

The width of the spectrum can be obtained by extrapolating the fitted curve to zero. Width W is defined as:

$$W = \alpha_1 - \alpha_2 \quad (11)$$

with $f(\alpha_1) = f(\alpha_2) = 0$. It has been proposed by some groups that the width of the multifractal spectra is a measure of degree of multifractality. For a monofractal series, $h(q)$ is independent of q.

Hence from relation (6) and (7) it follows that the width of the spectrum will be zero for a monofractal series. The more the width, the more multifractal is the spectrum [6-8].

The origin of multifractality in a time series can be determined. Two basic sources of multifractality in the time series are:

– multifractality due to broad probability density function for the values of the time series;

– multifractality due to different long range correlations of the small and large fluctuations.

The origin of multifractality can be ascertained by analyzing the corresponding randomly shuffled series. In the shuffling procedure, the values are put into random order and hence all correlations are destroyed. Hence, if the multifractality is due to long-range correlations, then the shuffled series exhibits a non-fractal scaling. On the other hand, if the original $h(q)$ dependence does not change, i. e., $h(q) = h_{shuffled}(q)$, then the multifractality is due to the broad probability density, which is not affected in the shuffling procedure. If both kinds of multifractality are present in a given series, the shuffled series will show weaker multifractality than the original series.

The autocorrelation exponent γ can be estimated from the relation given below:

$$\gamma = 2 - 2h(2). \quad (12)$$

For uncorrelated or short-range correlated data, $h(2)$ is expected to have a value 0.5 while a value greater than 0.5 is expected for long-range correlations. Therefore, for uncorrelated data, γ has a value 1 and the lower the value the more correlated is the data.

The basic component of MFDFA is the local fluctuation, RMS. Statistical parameters other than RMS can be used to define the local fluctuation in a time series. The MFDFA has been shown to perform as well as or better than these multifractal analyses. However, extensions of detrending procedure in MFDFA should be considered when the biomedical time series contains strong oscillatory or ramp-like trends [9, 10].

Description of results

Fig. 3-5 show scaling function *Fq* (*q*-order RMS) and corresponding regression line computed by MFDFA for three standard (I, II, III) leads.

Fig. 6-8 show scaling function *Fq* and corresponding regression line for three enhanced leads (aVR, aVL, aVF). The scaling functions *Fq*(dots) and corresponding regression slopes *Hq* (dashed lines) are *q*-dependent. It means that time series are multifractal. They are time series: norm_1, norm_2, norm_3, norm_avr, norm_avl, norm_avf.

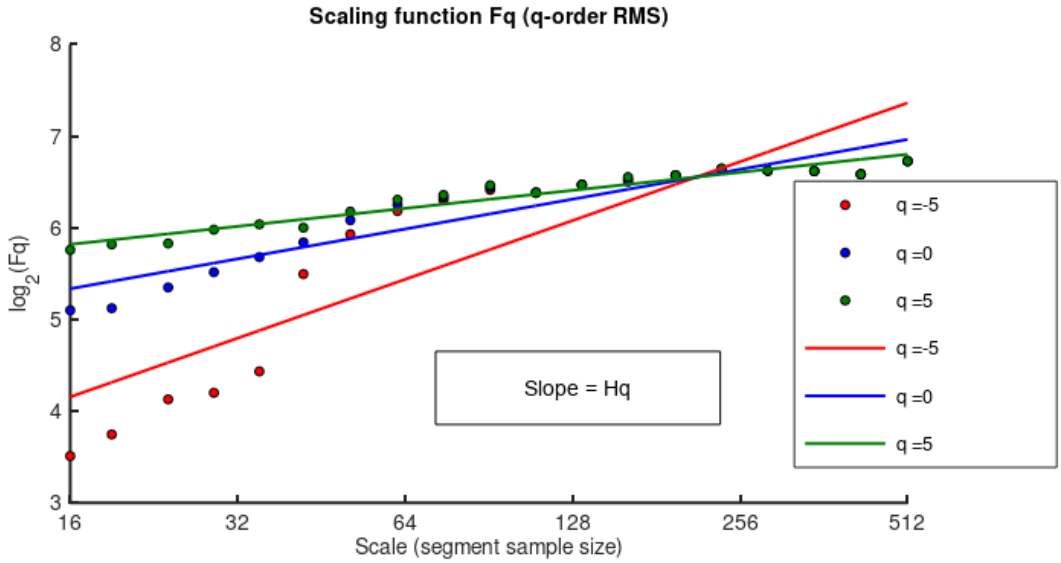


Figure 3 – Function Fq for the norm_1

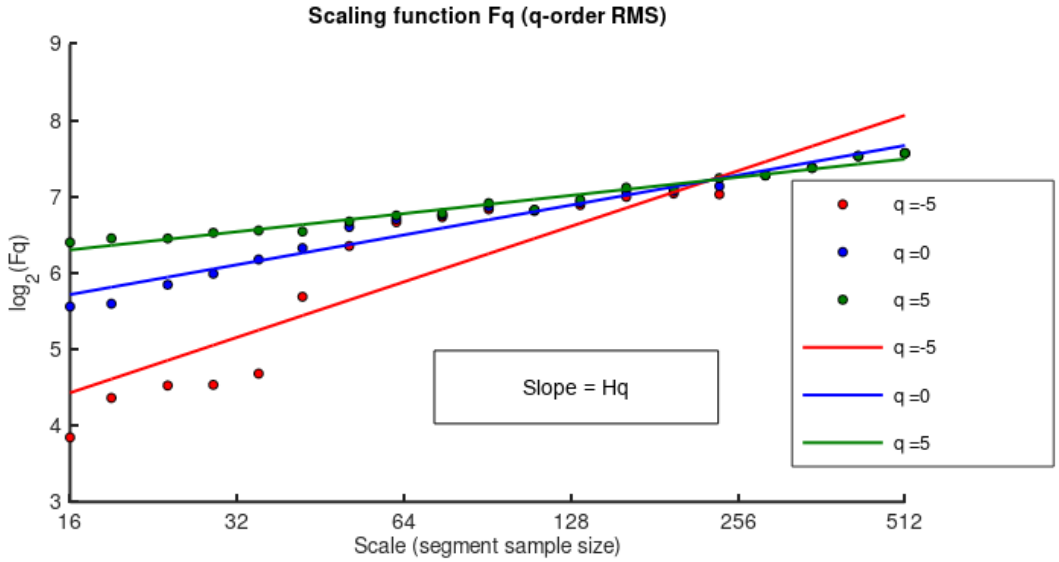


Figure 4 – Function Fq for the norm_2

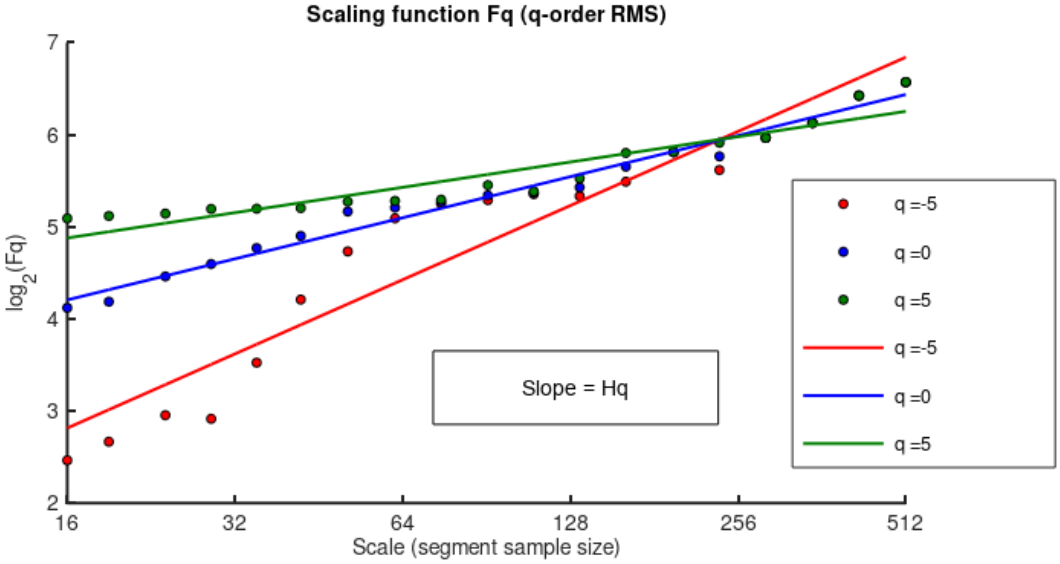


Figure 5 – Function Fq for the norm_3

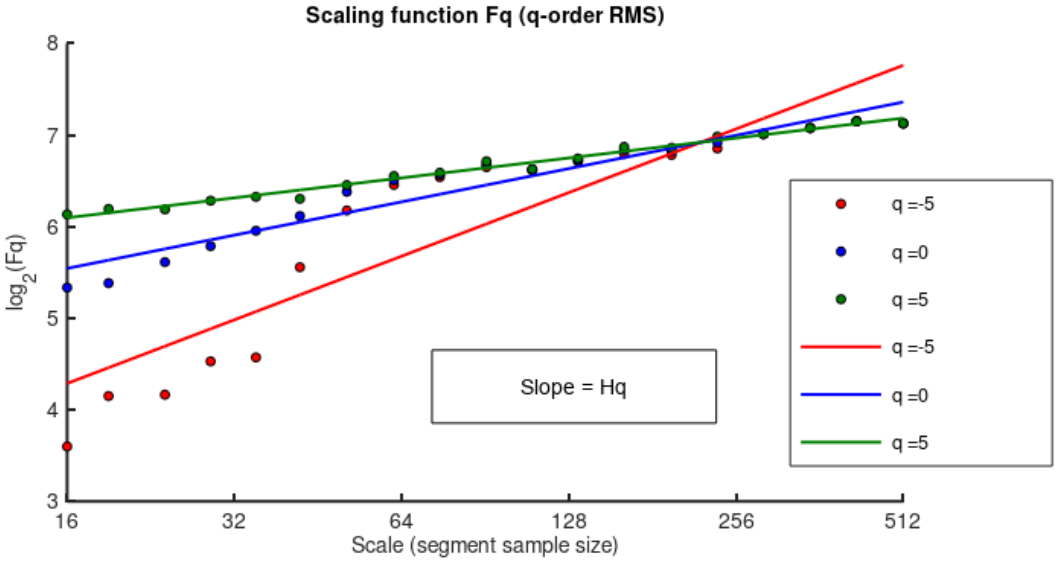


Figure 6 – Function Fq for the norm_avr

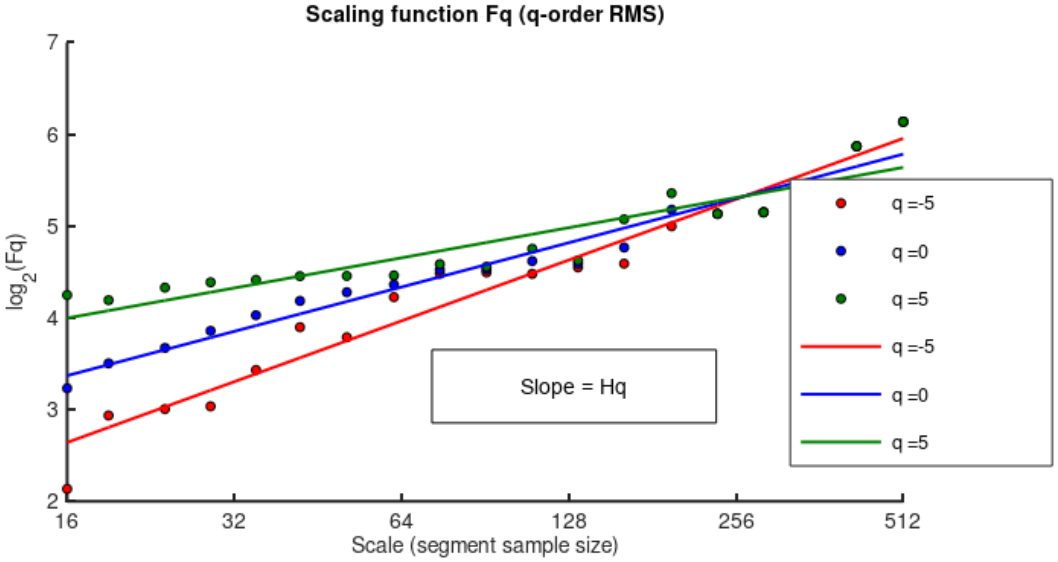


Figure 7 – Function Fq for the norm_avl

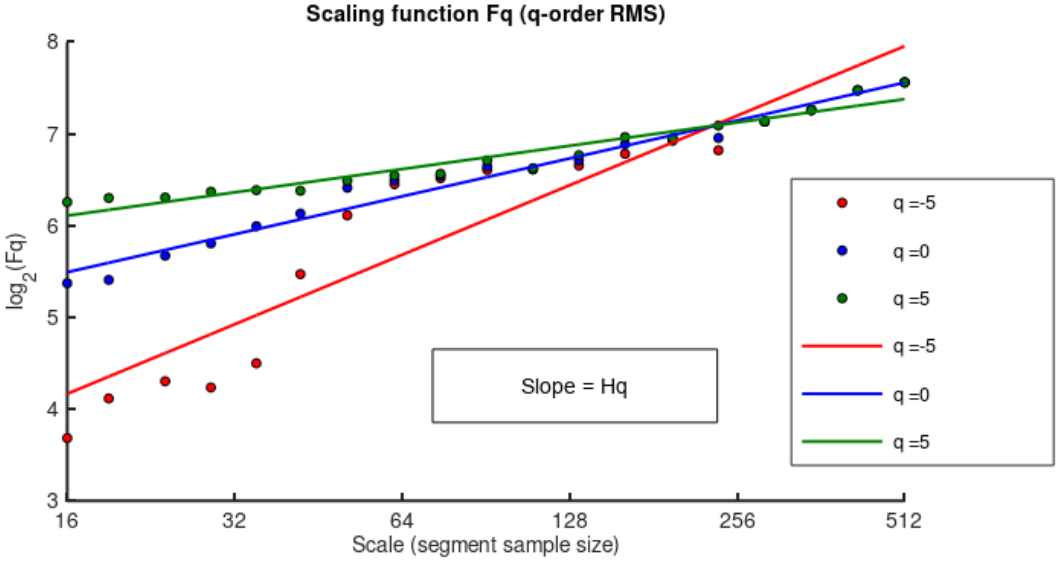


Figure 8 – Function Fq for the norm_avf

Fig. 9-14 show the *q*-order Hurst exponent *Hq* for the time series, where the colored dots represents the slopes *Hq* for $q = -5$, 0 and 5. *Hq* are *q*-dependent and time series are multifractal.

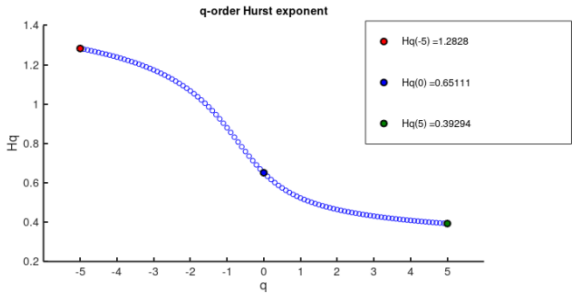


Figure 9 – Hurst exponent for the norm_1

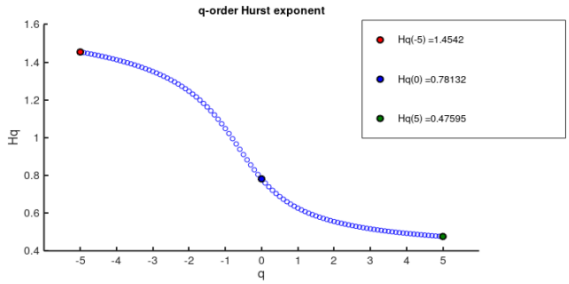


Figure 10 – Hurst exponent for the norm_2

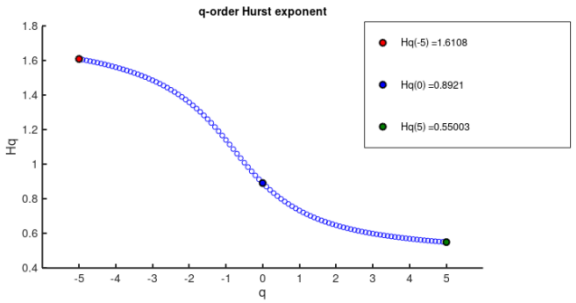


Figure 11 – Hurst exponent for the norm_3

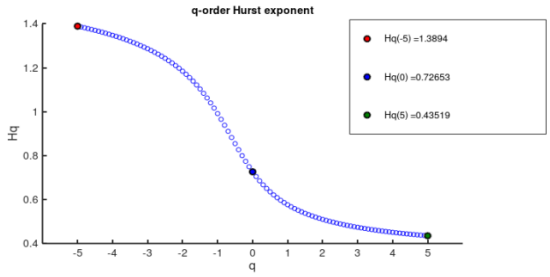


Figure 12 – Hurst exponent for the norm_avr

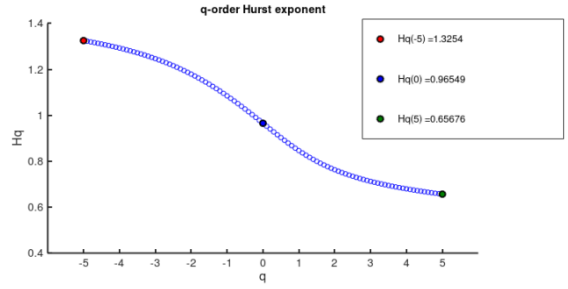


Figure 13 – Hurst exponent for the norm_avl

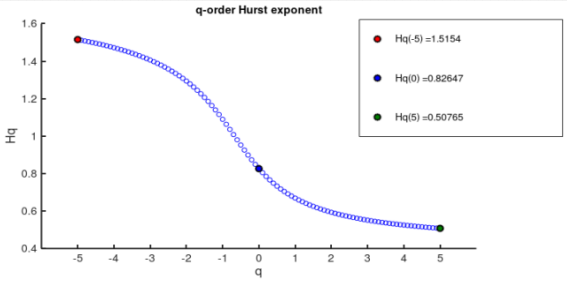


Figure 14 – Hurst exponent for the norm_avf

Fig. 15-20 show mass exponent *tq*. The multifractal time series have mass exponents with a curved *q*-dependency and, consequently, a decreasing singularity exponent *hq*.

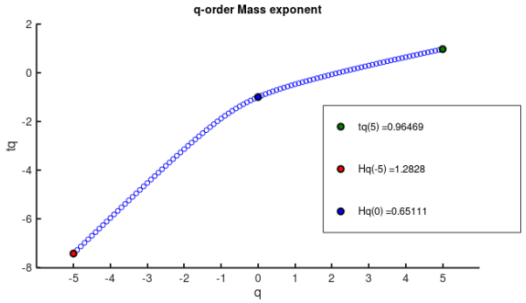


Figure 15 – Mass exponent for the norm_1

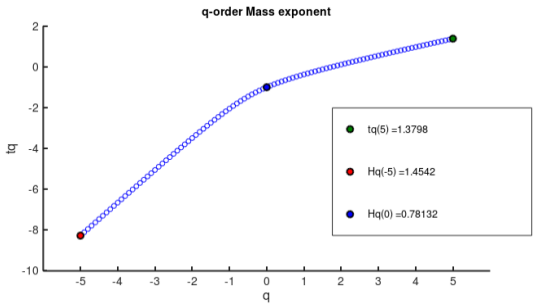


Figure 16 – Mass exponent for the norm_2

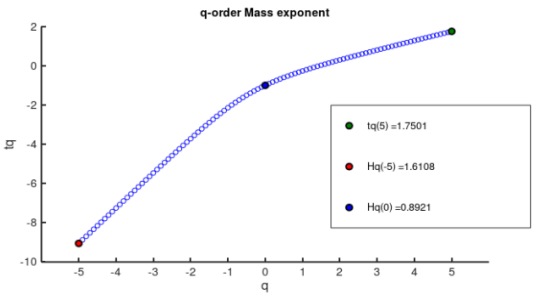


Figure 17 – Mass exponent for the norm_3

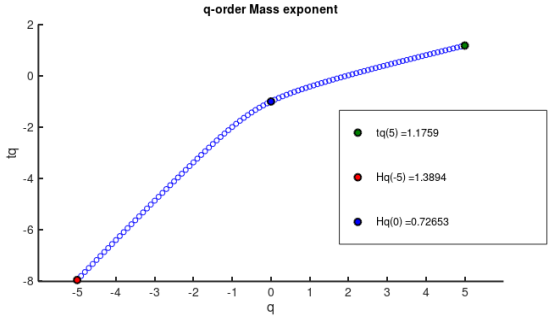


Figure 18 – Mass exponent for the norm_avr

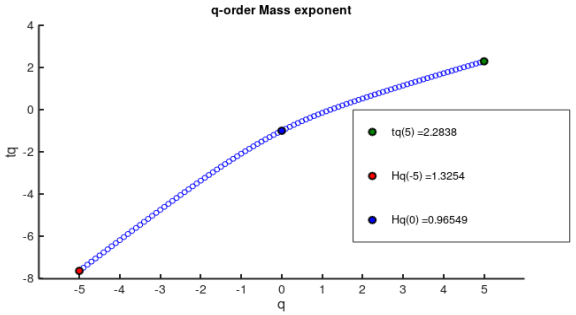


Figure 19 – Mass exponent for the norm_avl

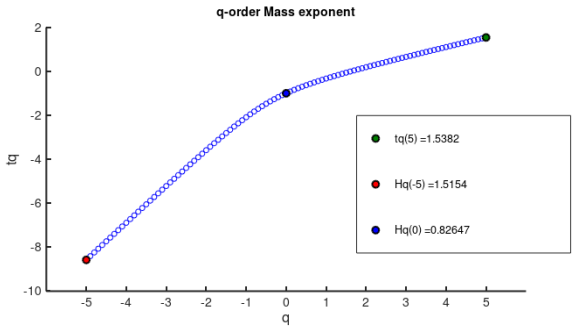


Figure 20 – Mass exponent for the norm_avf

The resulting spectrums are a large arc where the difference between the maximum and minimum *hq* are called the multifractal spectrum. Fig. 21-26 show the resulting spectrum sand, $D_q = f(\alpha)$, $h_q = \alpha$.

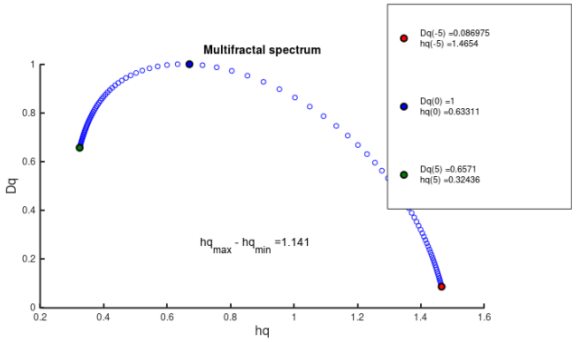


Figure 21 – Multifractal spectrum for the norm_1

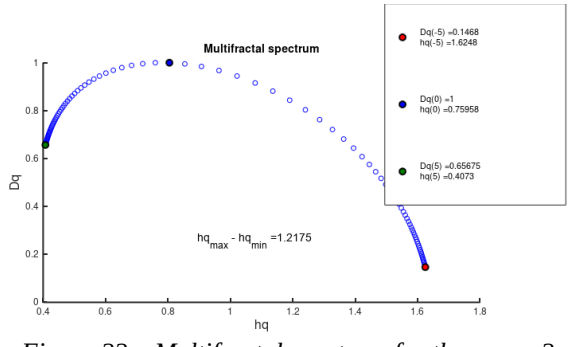


Figure 22 – Multifractal spectrum for the norm_2

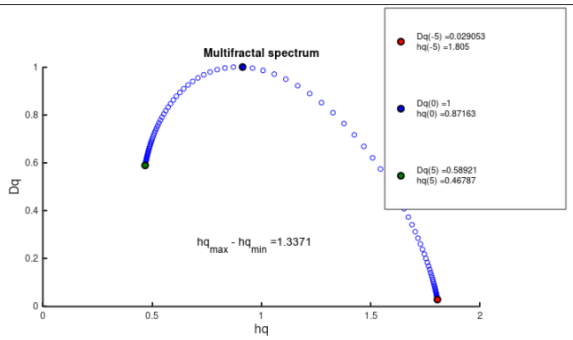


Figure 23 – Multifractal spectrum for the norm_3

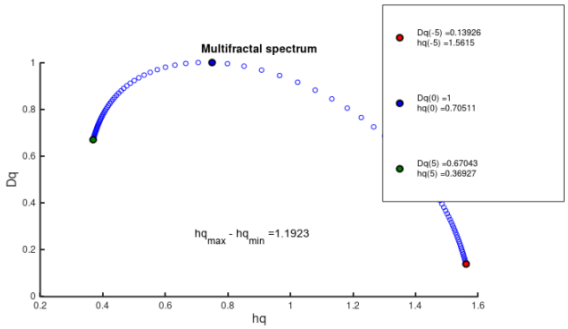


Figure 24 – Multifractal spectrum for the norm_avr

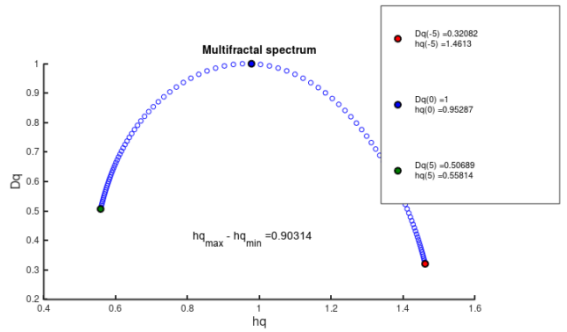


Figure 25 – Multifractal spectrum for the norm_avl

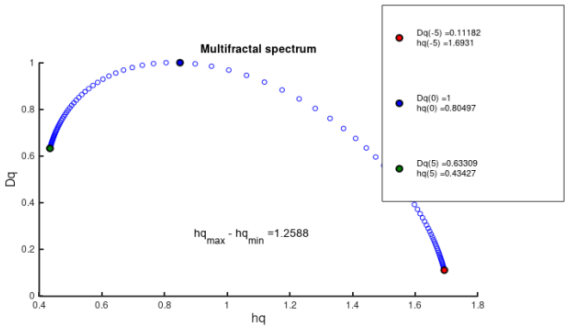


Figure 26 – Multifractal spectrum for the norm_avf

Conclusions

This work is to show the executed multifractal analysis of ECG data. The following results were obtained for all-time series:

– the scaling functions are *q*-dependent;

– hurst exponent *Hq* is *q*-dependent;

– the time series have mass exponents with a curved *q*-dependency;

– time series have a wide range of multifractal spectrum.

For these reasons, the time series are multifractal.

Literature

1. Introduction to multifractal detrended fluctuation analysis in Matlab. [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/38262-multifractal-detrended-fluctuation-analyses

2. Multifractal Detrended Fluctuation Analysis of Human Gait Diseases. [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/257600522_Multifractal_Detrended_Fluctuation_Analysis_of_Human_Gait_Diseases

3. Electrocardiogram Data Example ECG data. [Electronic resource]. – Mode of access: https://rdrr.io/cran/Rlibeemd/man/ECG.html

4. Программное обеспечение кардиографа. [Electronic resource]. – Mode of access: https://vdd-pro.ru/ru/usb-kardiograf/programmnoe-obespechenie/

5. ECGControl. Руководство пользователя. [Electronic resource]. – Mode of access: http://vdd-pro.ru/wpcontent/uploads/2017/10/ECG_Control_User_Guide-1.pdf

6. Introductory by guide to identifying ECG irregularities. [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.dcbiomed.com/proimages/materials/EKG_Introduction/portableEKG_weitere_Informationen.pdf

7. Olsen L. Multifractal Analysis. A selected survey. [Electronic resource]. – Mode of access: https://math.unt.edu/sites/www.math.unt.edu/files/users/cag0248/olsen-slides.pdf

8. Kantelhardt J. W., Zschiegner S. A., Koscielny-Bunde E., Bunde A., Havlin S., Stanley H. E. Multifractal Detrended Fluctuation Analysis of Nonstationary Time Series. [Electronic resource]. – Mode of access: https://arxiv.org/pdf/physics/0202070.pdf

9. ECG Archive. [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.healio.com/cardiology/learn-the-heart/ecg-review/ecg-archive

10. Multifractal Analysis. [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.mathworks.com/help/wavelet/ug/multifractal-analysis.html

Belkov D., Edemskaya E., Lazebnaya L., Boyko V. Multifractal detrended fluctuation analysis in Octave for ECG data. *Measuring the electrical impulses of the heart through an electrocardiogram (ECG) has become the primary method for detecting problematic heart conditions such as heart attacks or cardiac arrhythmia. Gaining more insight into the dynamical behavior of heartbeat irregularities would have meaningful applications in cardiology, especially if an "irregular" heartbeat could be characterized as being monofractal or multifractal, as opposed to being merely random. Using times series from electrocardiogram data, anyone is able to apply multifractal detrended fluctuation analysis (MDFA) to investigate possible multifractal structure of ECG data. Our work is aimed to test multifractal structure in time series data from an electrocardiogram. We examine data from ECGControl program. The research is executed in Octave runtime.*

Keywords: *MDF analysis, multifractal, monofractal, random, time series.*

Бельков Д. В., Едемская Е. Н., Лазебная Л. А., Бойко В. Н. Мультифрактальный анализ детрендированных флуктуаций ЭКГ-данных. *Измерение электрических импульсов сердца с помощью электрокардиограммы (ЭКГ) стало основным методом выявления проблемных состояний сердца, таких как сердечные приступы или нарушение ритма сердца. Оно широко применяется в кардиологии для лучшего понимания динамического поведения нарушений сердечного ритма, особенно при «нерегулярном» сердцебиении, и может быть охарактеризовано как монофрактальное или мультифрактальное, а не просто случайное. Используя временные ряды данных электрокардиограммы, можно применять мультифрактальный анализ флуктуаций (MDFA) для исследования возможной мультифрактальной структуры данных ЭКГ. Данная работа посвящена тестированию мультифрактальной структуры временных рядов данных электрокардиограммы. Исходные данные получены с помощью программы ECGControl. Исследование выполнено в среде Octave.*

Ключевые слова: *MDF-анализ, мультифрактал, монофрактал, случайный, временные ряды.*

Статья поступила в редакцию 20.12.2019
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

УДК 004.421.2

Применение теории алгоритмов в профессиональной деятельности человека

Ю. Н. Добровольский, К. Н. Ефименко
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
dyn_don_20.14@mail.ru

Аннотация
Рассмотрены основные этапы развития теории алгоритмов. Приведены формальные описания универсальных исполнителей: нормальных алгоритмов Маркова и машины Тьюринга. Представлены краткое описание структуры машины Тьюринга и правила ее программирования. Показано применение теории алгоритмов в профессиональной деятельности человека путем описания задач производственного характера с помощью машины Тьюринга и нормального алгоритма Маркова. Приведены примеры программ в виде таблицы и команд для машины Тьюринга, а также подстановки для нормального алгоритма Маркова.

Введение

В настоящее время, для изучения информации большую роль играют методы дискретной математики.

Разработка методов дискретной математики для анализа информации привела к созданию фундаментальных разделов дискретной математики, что способствовало формированию идеологии компьютеров, а затем и созданию самих компьютеров. Одним из таких разделов является теория алгоритмов.

Именно эта научная дисциплина образует базу языков программирования, которые являются основой «компьютерных мозгов». Напомним, что основой «компьютерного железа» являются методы, разработанные математической логикой. К компьютерным мозгам математическая логика имеет также самое непосредственное отношение.

Общая теория алгоритмов занимается проблемой эффективной вычислимости. Разработано несколько формальных определений алгоритма, в которых эффективность и конечность вычислений может быть определена количественно – числом элементарных шагов и объемом требуемой памяти. Подобными моделями алгоритмических преобразований символьной информации являются: конечные автоматы, машина Тьюринга, машина Поста, ассоциативное исчисление или нормальные алгоритмы Маркова, рекурсивные функции.

Интуитивное понимание понятия алгоритма складывалось в практике, в науке и, прежде всего, в математике с древнейших времен. Алгоритм в таком понимании есть некая четкая система инструкций, которая будучи последовательно примененная к начальному набору каких-либо конструктивных объектов в результате за конечное число шагов приводит к созданию некоего результирующего конструктивного объекта. При таком интуитивном понимании понятия алгоритма можно говорить об алгоритмах в самых разнообразных областях человеческой деятельности.

Но вместе с тем бытует мнение, что математический аппарат применяется только в математике и в дисциплинах естественно-технического цикла. Однако это не так. Математический аппарат весьма удачно применяется к ситуациям, с которыми мы сталкиваемся ежедневно.

В повседневной жизни мы не замечаем, как используем те или иные алгоритмы. Приготовить еду, собраться на работу, закрыть, открыть дверной замок, перейти дорогу – все эти действия выполняются в определенной последовательности.

Человек ежедневно пользуется различными алгоритмами. При помощи математических методов можно описать многие процессы в физике, химии, экономике, медицине, в обществе и в многих других дисциплинах.

Конечно, в жизни нельзя формализовать все её аспекты и проработать модель поведения для любого случая. Однако, многие действия, которые мы совершаем, не задумываясь о том, насколько они поддаются математическому описанию, можно представить в виде алгоритмов.

Цель: выбрать несколько ситуаций из повседневной жизни и описать их с помощью теории алгоритмов. Узнать, какова их роль в жизни человека.

Задачи: изучить историю возникновения теории алгоритмов, изучить способы формального определения понятия алгоритма, применить выбранные способы к ситуациям из повседневной жизни.

Актуальность: применение теории алгоритмов к, казалось бы, далёким от математики ситуациям поможет лучше понять саму теорию и поспособствует более широкому взгляду на обыденные вещи, прежде всего, с математической точки зрения.

История возникновения теории алгоритмов

Первым дошедшим до нас алгоритмом в его интуитивном понимании – конечной последовательности элементарных действий, решающих поставленную задачу, считается так называемый алгоритм Евклида – алгоритм нахождения наибольшего общего делителя двух чисел [1-4].

Слово «алгоритм» возникло довольно поздно. Оно образовано от имени арабского математика аль-Хорезми, жившего в IX веке н. э. Понятие «алгоритм» не имеет строго определенной формулировки. Алгоритм можно определить как набор инструкций, следуя которым можно по входным данным определенного вида получать на выходе некоторый результат [5].

Начало современной теории алгоритмов положила работа немецкого математика Курта Гёделя 1931 года, в которой было показано, что некоторые математические проблемы не могут быть решены алгоритмами из некоторого класса. Общность результата Геделя связана с тем, совпадает ли использованный им класс алгоритмов с классом всех (в интуитивном смысле) алгоритмов. Эта работа дала толчок к поиску и анализу различных формализаций алгоритма.

Первые фундаментальные работы по теории алгоритмов были опубликованы независимо в 1936 году Аланом Тьюрингом, Алоизом Черчем и Эмилем Постом. Предложенные ими машина Тьюринга, машина Поста и лямбда-исчисление Черча были эквивалентными формализмами алгоритма. Важным развитием этих работ стала формулировка и доказательство алгоритмически неразрешимых проблем [6, 7].

Существенный вклад в теорию алгоритмов внесли работы Андрея Андреевича Маркова. В 1940-х годах он предложил способ формального определения понятия алгоритма, названного нормальным алгоритмом Маркова. Марков предположил, что любой алгоритм может быть записан в виде нормального «алгорифма». Позднее было доказано, что нормальные алгоритмы Маркова эквивалентны по своим возможностям другим универсальным исполнителям: машине Тьюринга и машине Поста [1, 7].

Для реализации цели данной работы, авторы решили рассматривать случаи из повседневной жизни как программу для Машины Тьюринга и как нормальный алгоритм Маркова.

Нормальные алгоритмы Маркова

Нормальные алгоритмы (или алгорифмы) разрабатывались в конце 1940-х годов XX века советским математиком А. А. Марковым. Алгоритмы Маркова представляют собой набор правил по переработке слов некоторого алфавита [1, 5].

Пусть дан алфавит $\sum$ и слова в этом алфавите. Слово α является вхождением слова β, если существуют такие слова γ_1 и γ_2 (возможно пустые), что $\beta = \gamma_1\alpha\gamma_2$. Например, в алфавите $\sum = \{a, b\}$ слова *bbaa* и *abba* являются вхождениями в слово *abbaaab*. В дальнейшем под вхождениями слова в данное слово будем понимать только первые вхождения. Пустое слово является первым вхождением любого слова.

Марковской подстановкой (или просто подстановкой) называется выражение вида $\alpha \to \beta$, которое осуществляет замену слова α на слово β. Подстановки применяются для преобразования слов алфавита $\sum$.

Пусть дано слово γ. Подстановка $\alpha \to \beta$, примененная к слову γ, означает замену первого вхождения слова α в γ на слово β. Полученное слово называют результатом подстановки $\alpha \to \beta$ к слову γ. Если не существует вхождение слова α в γ, то подстановка считается неприменимой.

Например, пусть в алфавите $\sum = \{a, b\}$ дано слово *abbab*. В результате применения подстановки $ab \to ba$ к слову *abbab* будет получено слово *babab*, результатом подстановки $abb \to e$ (e – пустое слово) будет слово *ab*. Подстановка $abab \to aa$ не применима к слову *abbab*.

Марковская подстановка вида $\alpha \to .\beta$ или ($\alpha \mid\to \beta$) называется **заключительной**, если после ее применения работа нормального алгоритма прекращается.

Нормальным алгоритмом Маркова (далее НАМ) называется структура вида:

$$NA = < \sum, \sum', S >, \qquad (1)$$

где $\sum$ – алфавит, слова которого перерабатывает алгоритм;

$\sum'$ – расширенный алфавит содержит $\sum$ и вспомогательные символы, которые могут быть включены в марковские подстановки;

S – схема алгоритма.

Схема алгоритма S представляет собой упорядоченный конечный набор подстановок, представленный в виде:

$$\begin{cases} \alpha_1 \to \tau_1\beta_1; \\ \alpha_2 \to \tau_2\beta_2; \\ \ldots\ldots\ldots \\ \alpha_k \to \tau_k\beta_k; \end{cases}$$

где τ_i – символ «.» для заключительной подстановки или пустой символ для обыкновенной подстановки (i = 1, 2, …, k).

Нормальный алгоритм Маркова (1) **вычисляет словарную функцию** f на множестве всех слов $\sum$. Под **вычислением слова** γ алфавита $\sum$ понимается поиск конечной последовательности слов $\gamma_0, \gamma_1, \ldots, \gamma_n, \ldots$, где $\gamma = \gamma_0$ и для каждого $i \geq 1$ слово γ_i получено из γ_{i-1} в результате применения первой сверху подходящей марковской подстановки из схемы S. Вычислительный процесс, т. е. поиск слова γ_n, заканчивается в одном из двух случаев:

– слово γ_n получено из γ_{n-1} в результате применения заключительной подстановки;

– ни одна из подстановок схемы S неприменима для слова γ_n.

Последний член последовательности γ_n называется **результатом применения нормального алгоритма** к слову γ. Тогда говорят, что нормальный алгоритм перерабатывает γ в $\gamma_n = f(\gamma)$. Если в процессе вычисления последовательность будет бесконечной и последний член получить невозможно, то говорят, что данный **нормальный алгоритм неприменим** к слову γ.

Например, пусть дан алфавит $\sum = \{a, b\}$. Рассмотрим схему нормального алгоритма S:

$$\{ba \to ab.$$

Данный алгоритм перерабатывает любое слово алфавита $\sum = \{a, b\}$ в слово, которое сначала начинается символами a и заканчивается символами b. Вычисление слова $\gamma = abbbab$ запишем последовательностью: $\gamma_0 = abb\mathbf{ba}b$, $\gamma_1 = ab\mathbf{ba}bb$, $\gamma_2 = a\mathbf{ba}bbb$, $\gamma_3 = aabbbb$ (жирным шрифтом выделен фрагмент слова для замены). В данном алгоритме алфавиты $\sum$ и $\sum'$ совпадают.

Примером неприменимого ни к одному слову алфавита $\sum = \{a, b\}$ является алгоритм со схемой:

$$\begin{cases} b \to b; \\ a \to a. \end{cases}$$

Т. о., нормальный алгоритм задает метод преобразования строк с помощью системы подстановок [1]. Каждая подстановка состоит из слова-образца и слова-замены, разделенных цепочкой символов «⟶». На каждом шаге замены подстановки просматриваются по порядку сверху вниз, и выполняется первая из них, которая подошла: первое найденное слово-образец рабочей строки заменяется на слово-замену.

Машина Тьюринга

Машина Тьюринга есть такой же математический объект, как пространство, функция, производная и т. д. Она отражает объективную реальность, моделирует вычислительную деятельность человека [7, 8].

Т. о., машина Тьюринга – математическая абстракция, представляющая вычислительную машину общего вида. Согласно тезису Тьюринга, любой алгоритм может быть записан в виде программы для машины Тьюринга.

Машина Тьюринга состоит из бесконечной в обе стороны ленты, разбитой на ячейки, и автомата (головки), которая управляется программой.

В каждой ячейке может быть записан только один символ некоторого конечного алфавита. Головка машины на каждом шаге работы указывает на одну ячейку и находится в одном из конечных состояний. Согласно программе, считывая символ в ячейке, обозреваемой головкой, и находясь в некотором состоянии, машина Тьюринга может менять свое состояние и при этом либо записывать в ячейку другой символ алфавита, либо сдвигаться влево или вправо по ленте на одну ячейку.

При описании машины Тьюринга приводятся следующие понятия [7, 9].

Внешний алфавит. Конечное множество символов $\sum = \{\lambda, a_1, \ldots, a_n\}$, записанных на ленте. Одна из букв этого алфавита должна представлять собой пустой символ, именно она записана в пустую ячейку ленты. Условимся, что этой буквой является λ (или просто 0).

Внутренний алфавит. В каждый момент времени машина Тьюринга может находиться в одном из внутренних состояний конечного множества $Q = \{q_0, q_1, \ldots, q_m\}$. Среди состояний выделяют два – начальное q_1 и конечное (заключительное) q_0. Машина Тьюринга начинает работу в состоянии q_1. Попав в состояние q_0, машина завершает работу.

Программа. Работа машины Тьюринга определяется программой, которая состоит из команд трех типов: I тип – $q_i a_j a_k q_l$, II тип – $q_i a_j R q_l$, III тип – $q_i a_j L q_l$.

При этом $1 \leq i \leq m$; $0 \leq l \leq m$; $1 \leq j, k \leq n$; R – от английского right (право); L – от английского left (лево). Команда первого типа означает, что головка машины Тьюринга, находясь в состоянии q_i, и обозревая ячейку с символом a_j, осуществляет замену на символ a_k и переходит в состояние q_l (рис. 1).

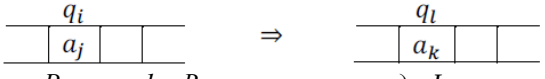


Рисунок 1 – Выполнение команды I типа

Согласно второй и третьей командам при тех же условиях головка осуществляет сдвиг на одну ячейку вправо или влево соответственно и переходит в новое состояние q_l. Это действие можно представить графически: для команды второго типа – сдвиг головки вправо (рис. 2); для команды третьего типа – сдвиг головки влево (рис. 3).

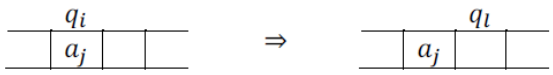


Рисунок 2 – Выполнение команды II типа

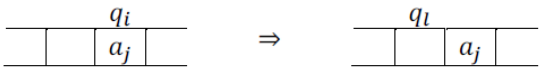


Рисунок 3 – Выполнение команды III типа

Выполнение одной команды машины Тьюринга называется **шагом.** Программа состоит из конечного числа команд. Т. к. работа машины Тьюринга полностью определяется ее состоянием q_i в данный момент и содержимым ячейки a_j, то для каждых q_i и a_j программа должна совершать только одну команду, начинающуюся парой q_ia_j. Такая пара называется **ситуацией.**

Другими словами, среди команд программы нет никаких двух, содержащих одинаковые ситуации.

Программу машины Тьюринга удобно представлять в виде таблицы или ориентированного графа.

Строгое формализованное определение машины Тьюринга следующее. **Машиной Тьюринга** (далее *МТ*) называется структура вида

$$MT = <\sum, Q, a_0, q_0, q_1, P>, \quad (2)$$

где $\sum$ – внешний алфавит;
Q – алфавит внутренних состояний;
P – *программа* машины Тьюринга.

Символ a_0 и состояния q_0, q_1 в структуре (2) говорят о том, что они обязательно присутствуют в любой *МТ*.

Под **конфигурацией** *МТ* понимается любое слово в множестве $\sum x\, Q$, удовлетворяющее условиям: оно не содержит более одного состояния из Q; состояние в этом выражении не должно занимать крайнюю правую позицию.

Применение теории алгоритмов к ситуациям в профессиональной деятельности человека

Пример 1: выбрать серию деталей на заводском складе. Серию деталей можно представить в виде последовательности $x_1\ x_2\ x_3 \ldots x_n$, где n – номер последней детали в серии, а x_i принимают значения a, если номер детали в серии нечетный, и b, если четный. По окончании работы алгоритм должен напечатать слово bb.

Нормальный алгоритма Маркова, реализующий пример 1, представлен на рис. 4.

$$*a \to a* \quad (1)$$
$$*b \to b* \quad (2)$$
$$a* \to * \quad (3)$$
$$b* \to * \quad (4)$$
$$* \mid\!\to bb \quad (5)$$
$$\to * \quad (6)$$

Рисунок 4 – Программа НАМ для примера 1

Для проверки работы алгоритма будет использована определенная серия деталей. Пусть она содержит три детали. Следовательно, алгоритм надо проверить на слове – *aba* (рис. 5).

$$aba \overset{6}{\to} \underline{*a}ba \overset{1}{\to} \underline{a*}ba \overset{3}{\to} \underline{*b}a \overset{2}{\to} \underline{b*}a \overset{4}{\to} \underline{*a} \overset{1}{\to}$$
$$a* \overset{3}{\to} \underline{*} \mid\!\overset{5}{\to} bb.$$

Рисунок 5 – Последовательность подстановок при выполнении НАМ

Проверим алгоритм на слове *abababa* (рис. 6).

$$abababa \overset{6}{\to} \underline{*a}bababa \overset{1}{\to} a\underline{*b}ababa \overset{2}{\to} ab\underline{*a}baba \overset{1}{\to}$$
$$aba\underline{*b}aba \overset{2}{\to} abab\underline{*a}ba \overset{1}{\to} ababa\underline{*b}a \overset{2}{\to} ababab\underline{*a} \overset{1}{\to}$$
$$abababa* \overset{3}{\to} ababab* \overset{4}{\to} ababa* \overset{3}{\to} abab* \overset{4}{\to}$$
$$aba* \overset{3}{\to} ab* \overset{4}{\to} a* \overset{3}{\to} * \mid\!\overset{5}{\to} bb.$$

Рисунок 6 – Последовательность подстановок при выполнении НАМ

Соответствующая программа для машины Тьюринга в табличной форме и в виде команд представлена на рис. 7 и рис. 8.

	$q1$	$q2$
a	$\lambda q1R$	
b	$\lambda q1R$	
λ	$bq2L$	$bq0N$

Рисунок 7 – Программа № 1 для МТ в табличной форме

$$aq1 \to \lambda q1R, \quad bq1 \to \lambda q1R,$$
$$\lambda q1 \to bq2L, \quad \lambda q2 \to bq0N.$$

Рисунок 8 – Программа № 1 для МТ в виде команд

Пример 2: обрабатывается деталь на станке с программным управлением в два этапа: прямой ход и обратный. Имеются три кнопки: R – кнопка направо, L – кнопка налево, D – кнопка прямо. Производственный процесс можно

представить в виде последовательности x_1 x_2 x_3 … x_n, где x_i принимают значения: R – кнопка направо, L – кнопка налево, D – кнопка прямо.

По окончании работы алгоритм должен «затереть» входное слово, т. е. напечатать последовательность пустых символов. Т. о., нужно пройти входное слово слева направо, заменив символы R на L, L на R, и оставив символ D, а затем справа налево, заменив все символы пустыми символами.

Реализующая пример 2 программа для машины Тьюринга в табличной форме и в виде команд, представлена на рис. 9 и рис. 10.

	$q1$	$q2$
R	$Lq1R$	$\lambda q2L$
L	$Rq1R$	$\lambda q2L$
D	$Dq1R$	$\lambda q2L$
λ	$\lambda q2L$	$\lambda q0L$

Рисунок 9 – Программа № 2 для МТ в табличной форме

$Rq1 \rightarrow Lq1R$, $Lq1 \rightarrow Rq1R$,
$Dq1 \rightarrow Dq1R$, $\lambda q1 \rightarrow \lambda q2L$,
$Rq2 \rightarrow \lambda q2L$, $Lq2 \rightarrow \lambda q2L$,
$Dq2 \rightarrow \lambda q2L$, $\lambda q2 \rightarrow \lambda q0L$.

Рисунок 10 – Программа № 2 для МТ в виде команд

Нормальный алгоритма Маркова, реализующий пример 2, представлен на рис. 11.

R → L (1) R# → # (6)
L → R (2) D# → # (7)
D → D (3) # |→ (8)
* → # (4) → * (9)
L# → # (5)

Рисунок 11 – Программа НАМ для примера 2

Пример 3: выполнить производственный цикл. Пусть производственный цикл будет представлен в виде последовательности x_1 x_2 x_3 x_4 λ x_5 x_6 x_7 x_8 λ x_9 x_{10} x_{11} x_{12}, где x_i принимают значения четырех базовых операций a, b, c, d. После каждых четырех операций – перерыв, обозначенный пустым символом λ. Цикл выполняется дважды.

По окончании работы алгоритм должен «затереть» входное слово, т. е. напечатать последовательность пустых символов. Т. о., нужно дважды пройти входное слово слева направо, не изменяя его при первом проходе, и заменяя все символы на «пробел» при втором проходе.

Реализующая пример 3 программа для машины Тьюринга в табличной форме и в виде команд, представлена на рис. 12 и рис. 13 соответственно, а в виде нормального алгоритма Маркова на рис. 14.

	$q1$	$q2$	$q3$	$q4$	$q5$	$q6$
a	$aq1R$	$aq1R$	$aq3L$	$aq3L$	$\lambda q5R$	$\lambda q5R$
b	$bq1R$	$bq1R$	$bq3L$	$bq3L$	$\lambda q5R$	$\lambda q5R$
c	$cq1R$	$cq1R$	$cq3L$	$cq3L$	$\lambda q5R$	$\lambda q5R$
d	$dq1R$	$dq1R$	$dq3L$	$dq3L$	$\lambda q5R$	$\lambda q5R$
λ	$\lambda q2R$	$\lambda q3L$	$\lambda q4L$	$\lambda q5R$	$\lambda q6R$	$\lambda q0N$

Рисунок 12 – Программа № 3 для МТ в табличной форме

$aq1 \rightarrow aq1R$, $bq1 \rightarrow bq1R$, $cq1 \rightarrow cq1R$,
$dq1 \rightarrow dq1R$, $\lambda q1 \rightarrow \lambda q2R$, $aq2 \rightarrow aq1R$,
$bq2 \rightarrow bq1R$, $cq2 \rightarrow cq1R$, $dq2 \rightarrow dq1R$,
$\lambda q2 \rightarrow \lambda q3L$, $aq3 \rightarrow aq3L$, $bq3 \rightarrow bq3L$,
$cq3 \rightarrow cq3L$, $dq3 \rightarrow dq3L$, $\lambda q3 \rightarrow \lambda q4L$,
$aq4 \rightarrow aq3L$, $bq4 \rightarrow bq3L$, $cq4 \rightarrow cq3L$,
$dq4 \rightarrow dq3L$, $\lambda q4 \rightarrow \lambda q5R$, $aq5 \rightarrow \lambda q5R$,
$bq5 \rightarrow \lambda q5R$, $cq5 \rightarrow \lambda q5R$, $dq5 \rightarrow \lambda q5R$,
$\lambda q5 \rightarrow \lambda q6R$, $aq6 \rightarrow \lambda q5R$, $bq6 \rightarrow \lambda q5R$,
$cq6 \rightarrow \lambda q5R$, $dq6 \rightarrow \lambda q5R$, $\lambda q6 \rightarrow \lambda q0N$.

Рисунок 13 – Программа № 3 для МТ в виде команд

*Aa → LA (1) *L → L* (11)
*Ab → LA (2) * → # (12)
*Ac → LA (3) a# → #a (13)
*Ad → LA (4) b# → #b (14)
*AL → LA (5) c# → #c (15)
*A |→ (6) d# → #d (16)
a → a (7) L# → #L (17)
b → b (8) *Aa → LA (18)
c → c (9) # → *A (19)
d → d (10) → * (20)

Рисунок 14 – Программа НАМ для примера 3

Пример 4: на склад поступает продукция из двух заводов в смешанном виде. Отсортировать продукцию по заводам.

Пусть продукция первого завода обозначена a, а продукция второго завода – b. Т. о., требуется отсортировать словесный массив по возрастанию.

Реализующая пример 4 программа для машины Тьюринга в табличной форме и в виде команд, представлена на рис. 15 и рис. 16, соответственно.

	$q1$	$q2$	$q3$	$q4$	$q5$
a	$aq1L$	$aq\text{ш}R$	$bq4L$	$aq5R$	
b	$bq1L$	$bq3R$	$bq3R$	$bq4L$	$aq2N$
λ	$\lambda q2R$	$\lambda q0N$	$\lambda q0N$	$\lambda q5R$	

Рисунок 15 – Программа № 4 для МТ в табличной форме

$aq1 \rightarrow aq1L$, $bq1 \rightarrow bq1L$, $\lambda q1 \rightarrow \lambda q2R$,
$aq2 \rightarrow aq2R$, $bq2 \rightarrow bq3R$, $\lambda q2 \rightarrow \lambda q0N$,
$aq3 \rightarrow bq4L$, $bq3 \rightarrow bq3R$, $\lambda q3 \rightarrow \lambda q0N$,
$aq4 \rightarrow aq5R$, $bq4 \rightarrow bq4L$, $\lambda q4 \rightarrow \lambda q5R$,
$bq5 \rightarrow aq2N$.

Рисунок 16 – Программа № 4 для МТ в виде команд

Проверим программу для *МТ* на входном слове *abab* (рис. 17).

$$\lambda q1abab\lambda \rightarrow q1\lambda abab\lambda \rightarrow \lambda q2abab\lambda \rightarrow$$
$$\lambda aq2bab\lambda \rightarrow \lambda abq3ab\lambda \rightarrow \lambda aq4bbb\lambda \rightarrow$$
$$\lambda q4abbb\lambda \rightarrow \lambda aq5bbb\lambda \rightarrow \lambda aq2abb\lambda \rightarrow$$
$$\lambda aaq2bb\lambda \rightarrow \lambda aabq3b\lambda \rightarrow \lambda aabbq3\lambda \rightarrow$$
$$\lambda aabbq0\lambda \rightarrow aabb.$$

Рисунок 17 – Последовательность конфигураций при выполнении программы № 4 для МТ

Очевидно, эта задача реализуется НАМ с помощью одной подстановки: {$ba \rightarrow ab$. Например: $\underline{ba}bba \rightarrow abb\underline{ba} \rightarrow ab\underline{ba}b \rightarrow ab\underline{ba}b \rightarrow$ $a\underline{ba}bb \rightarrow aabbb$.

Пример 5: группа студентов сдает экзамен по некоторой дисциплине *D*. Повторно сдают экзамен только те, которые получили оценку неудовлетворительно. Результат пересдачи экзамена следующий: в списочном составе первая тройка студентов получила оценки 5, 4, 3 соответственно, вторая тройка аналогично 5, 4, 3, и т. д. Заполнить ведомость сдачи экзамена.

Замечание. При этом надо учитывать случаи, когда произвольное количество студентов, получивших двойки, идут подряд в списочном составе, а также врозь, и когда вся группа получила двойки.

Список студентов в группе из n человек можно обозначить последовательностью $x_1\ x_2\ \ldots\ x_i\ \ldots\ x_n$, где x_i $(1 \le i \le n)$ принимает значение – ***a***, если студент сдал экзамен на 5, ***b*** – оценка 4, ***c*** – оценка 3, ***d*** – оценка 2.

Реализующая пример 5 программа для машины Тьюринга в табличной форме и в виде команд, представлена на рис. 18 и рис. 19, соответственно.

	$q1$	$q2$	$q3$	$q4$
a	$aq1R$	$aq2R$	$aq3R$	$aq4R$
b	$bq1R$	$bq2R$	$bq3R$	$bq4R$
c	$cq1R$	$cq2R$	$cq3R$	$cq4R$
d	$aq2R$	$bq3R$	$cq4R$	$dq1N$
λ	$\lambda q1N$	$\lambda q0N$	$\lambda q0N$	$\lambda q0N$

Рисунок 18 – Программа № 5 для МТ в табличной форме

$$aq1 \rightarrow aq1R,\ bq1 \rightarrow bq1R,\ cq1 \rightarrow cq1R,$$
$$dq1 \rightarrow aq2R,\ \lambda q1 \rightarrow \lambda q1N,\ aq2 \rightarrow aq2R,$$
$$bq2 \rightarrow bq2R,\ cq2 \rightarrow cq2R,\ dq2 \rightarrow bq3R,$$
$$\lambda q2 \rightarrow \lambda q0N,\ aq3 \rightarrow aq3R,\ bq3 \rightarrow bq3R,$$
$$cq3 \rightarrow cq3R,\ dq3 \rightarrow cq4R,\ \lambda q3 \rightarrow \lambda q0N,$$
$$aq4 \rightarrow aq4R,\ bq4 \rightarrow bq4R,\ cq4 \rightarrow cq4R,$$
$$dq4 \rightarrow dq1N,\ \lambda q4 \rightarrow \lambda q0N.$$

Рисунок 19 – Программа № 5 для МТ в виде команд

Проверим программу для *МТ* на входном слове *abdddcb* (рис. 20).

$$\lambda q1abdddcb\lambda \rightarrow \lambda aq1bdddcb\lambda \rightarrow$$
$$\lambda abq1ddcb\lambda \rightarrow \lambda abaq2dcb\lambda \rightarrow$$
$$\lambda ababq3cb\lambda \rightarrow \lambda ababcq4b\lambda \rightarrow$$
$$\lambda ababccq4b\lambda \rightarrow \lambda ababccbq4\lambda \rightarrow$$
$$\lambda ababccq0\lambda \rightarrow ababccb.$$

Рисунок 20 – Последовательность конфигураций при выполнении программы № 5 для МТ

Нормальный алгоритма Маркова, реализующий пример 5, представлен на рис. 21.

$Aa \rightarrow aA$	(1)	$*a \rightarrow a*$	(9)
$Ab \rightarrow bA$	(2)	$*b \rightarrow b*$	(10)
$Ac \rightarrow cA$	(3)	$*c \rightarrow c*$	(11)
$Ad \rightarrow c*$	(4)	$*d \rightarrow a\#$	(12)
$\#a \rightarrow a\#$	(5)	$* \mid\!\rightarrow$	(13)
$\#b \rightarrow b\#$	(6)	$\# \mid\!\rightarrow$	(14)
$\#c \rightarrow c\#$	(7)	$A \mid\!\rightarrow$	(15)
$\#d \rightarrow bA$	(8)	$\rightarrow *$	(16)

Рисунок 21 – Программа НАМ для примера 5

Проверим НАМ на том же слове *abdddcb* (рис. 22).

$$abdddcb \overset{16}{\rightarrow} \underline{*a}bdddcb \overset{9}{\rightarrow} a\underline{*b}dddcb \overset{10}{\rightarrow}$$
$$ab\underline{*d}ddcb \overset{12}{\rightarrow} aba\underline{\#d}dcb \overset{8}{\rightarrow} *abab\underline{Ad}cb \overset{4}{\rightarrow}$$
$$ababc\underline{*c}b \overset{11}{\rightarrow} ababcc\underline{*b} \overset{10}{\rightarrow} ababccb\underline{*} \overset{13}{\mid\!\rightarrow} ababccb$$

Рисунок 22 – Последовательность подстановок при выполнении НАМ

Предложенные примеры составляют лишь малую часть ситуаций, возникающих в повседневной жизни человека, которые можно реализовать как программу для машины Тьюринга или как нормальный алгоритм Маркова [10, 11].

Выводы

В данной статье показано, что для задач производственного характера, можно построить алгоритм их решения, что позволяет посмотреть на этот процесс с математической точки зрения. Задачи, рассмотренные выше, дают ответ на вопрос: «Может ли программист обойтись без знаний алгоритмов и теории анализа?». Может, и таких «программистов» очень много. Только назвать их программистами можно с большой натяжкой. В самом деле, любой код, который что-то делает, является алгоритмом. Поэтому вопрос «нужны ли программисту алгоритмы» можно перевести как «нужно ли программисту уметь писать код».

Машина Тьюринга и алгоритмы Маркова играют в понимании математики, в умении квалифицированно решать задачу такую же фундаментальную роль, как постулаты Евклида [10].

Естественно, что рабочий или прораб на стройке может не знать аксиом Евклида, они ему не нужны. Но архитектор всегда помнит о них (не использует в работе, но знает, интуитивно представляет их) т. к. должен учитывать геометрию (по крайней мере, начертательную) при проектировании и строительстве.

Точно также и абитуриенты гуманитарных вузов могут не помнить постулаты Евклида, но я уверен, что, не зная и не понимая их сущности, невозможно поступить ни на мехмат МГУ, ни на физтех, ни в любой другой приличный университет или институт.

В данной статье показано на практике, что любой нормальный алгоритм эквивалентен некоторой машине Тьюринга, и наоборот – любая машина Тьюринга эквивалентна некоторому нормальному алгоритму.

Нормальные алгоритмы оказались удобным средством для построения многих разделов конструктивной математики. Кроме того, заложенные в определении нормального алгоритма идеи используются в ряде ориентированных на обработку символьной информации языков программирования – например, в языке Рефал.

Машину Тьюринга надо знать, потому, что это – начала математики. Например, складывая в столбик, мы фактически реализуем машину Тьюринга: вместо реальных вычислений у нас в голове производится формальная замена одних символов другими – т. е. выполняется программа или алгоритм.

К сожалению, у многих программистов теоретическое определение алгоритма заменяется на своё, более близкое: алгоритм – это программа, которую пишу «Я» (это приводит к неприятностям, например, на экзамене или на работе).

Т. о., владение основами общей теории алгоритмов является непременным атрибутом фундаментальной образованности всякого современного высококвалифицированного специалиста в области информационных технологий (компьютеров, программирования и информатики) [12]. Теория алгоритмов развивалась в тесном взаимодействии с математической логикой. И изучается данный курс обычно после курса математической логики. Это, вне всякого сомнения, обусловлено тесной взаимосвязью алгоритмического и логического мышления человека, схожестью алгоритмов с процессами построения логических умозаключений и доказательств, использованием обеими дисциплинами формальных языков.

Подведя итоги, надо сказать следующее: если XVIII и XIX века были веками господства в приложениях методов непрерывной математики, то XX век выдвинул на передний план в сфере приложений методы дискретной математики, к которой относятся теория алгоритмов и математическая логика. Это вызвано, прежде всего, большим наплывом информации и созданием компьютеров и компьютерных методов ее обработки. XXI век продолжает усиливать эту тенденцию. Дискретность тесно связана с алгоритмами, это одно из определяющих их свойств.

Литература

1. Марков А. А. Теория алгорифмов / А. А. Марков, Н. М. Нагорный. – Москва: ФАЗИСТ, 1996. – 448 с.

2. Зюзьков В. М. Математическая логика и теория алгоритмов: учебное пособие / В. М. Зюзьков. – Томск: Эль Контент, 2015. – 236 с.

3. Матрос Д. Ш. Теория алгоритмов: учебник / Д. Ш. Матрос, Г. Б. Поднебесова. – Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2019. – 202 с.

4. Алферова З. В. Теория алгоритмов / З. В. Алферова. – Москва: Статистика, 1973. – 164 с.

5. Поляков В. И. Основы теории алгоритмов. Учебное пособие по дисциплине «Математическая логика и теория алгоритмов» / В. И. Поляков, В. И. Скорубский. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2012. – 51 с.

6. Игошин В. И. Теория алгоритмов: учебное пособие для вузов / В. И. Игошин. – Москва: ИНФРА-М, 2016. – 235 с.

7. Пильщиков В. Н. Машина Тьюринга и алгоритмы Маркова. Решение задач: учебно-методическое пособие / В. Н. Пильщиков, В. Г. Абрамов, А. А. Вылиток. – Москва: МГУ, 2006. – 47 с.

8. Тюрин С. Ф. Дискретная математика: практическая дискретная математика и математическая логика: учебное пособие для вузов / С. Ф. Тюрин, Ю. А. Аляев. – Москва: Финансы и статистика: ИНФРА-М, 2010. – 384 с.

9. Зыков А. Г. Математическая логика: учебное пособие по дисциплине «Математическая логика и теория алгоритмов» / А. Г. Зыков, В. И. Поляков, В. И. Скорубский. – Санкт-Петербург: ИТМО, 2013. – 198 с.

10. Добровольский Ю. Н. Реализация алгоритмов шифрования с помощью машины Тьюринга / Ю. Н. Добровольский, К. Н. Ефименко. // Информатика и кибернетика. Донецк: ДонНТУ, 2019. № 1(15). – С. 60-64.

11. Шиян А. С. Шифрование символьной информации на машине Тьюринга / А. С. Шиян, Ю. Н. Добровольский // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2019):

материалы студенческой секции X Международной научно-технической конференции, г. Донецк, 22-24 мая 2019 г. / ГОУВПО «ДОННТУ», Фак. комп. наук и технологий. – Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ», 2019. – С. 43-46.

12. Канатуш С. В. Теория алгоритмов как один из необходимых инструментов программиста / С. В. Канатуш, К. Н. Ефименко // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2019): материалы студенческой секции X Международной научно-технической конференции, г. Донецк, 22-24 мая 2019 г. / ГОУВПО «ДОННТУ», Фак. комп. наук и технологий. – Донецк: ГОУВПО «ДОННТУ», 2019. – С. 25-28.

Добровольский Ю. Н., Ефименко К. Н. Применение теории алгоритмов в профессиональной деятельности человека. *Рассмотрены основные этапы развития теории алгоритмов. Приведены формальные описания универсальных исполнителей: нормальных алгоритмов Маркова и машины Тьюринга. Представлены краткое описание структуры машины Тьюринга и правила ее программирования. Показано применение теории алгоритмов в профессиональной деятельности человека путем описания задач производственного характера с помощью машины Тьюринга и нормального алгоритма Маркова. Приведены примеры программ в виде таблицы и команд для машины Тьюринга, а также подстановки для нормального алгоритма Маркова.*

Ключевые слова: *машина Тьюринга, нормальный алгоритм Маркова, команда, подстановка, выборка, программа.*

Dobrovolsky Yu., Efimenko K. Application of theory of algorithms in human professional activity. *The main stages of the development of the theory of algorithms are considered. Formal descriptions of universal executors are given: normal Markov algorithms and a Turing machine. A brief description of the structure of the Turing machine and the rules for its programming are presented. The application of the theory of algorithms in human professional activity is shown by describing production problems using a Turing machine and the normal Markov algorithm. Examples of the programs are made as a table and commands for the machine of Turing and similarly substitutions for the normal Markov algorithm.*

Keywords: *Turing machine, normal Markov algorithm, command, substitution, selection, program.*

Статья поступила в редакцию 26.12.2019
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

УДК 621.311.426; 621.3.064

Система автоматического ограничения перенапряжений как структура управления коммутационными процессами в силовом трансформаторе шахтной участковой трансформаторной подстанции

И. Я. Чернов*, Е. В. Золотарев*, И. В. Ковалёва**
* ГУ «Научно-исследовательский институт взрывобезопасного электрооборудования», г. Донецк
** ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
kniot_i_tp@mail.ru, transformator76@inbox.ru, visara85@mail.ru

Аннотация
Рассмотрены результаты лабораторных исследований коммутационных перенапряжений, возникающих в обмотках сухого трансформатора мощностью 400 кВА при его коммутации элегазовым контактором типа Rollarc R400D. Разработана электрическая схема шахтной участковой трансформаторной подстанции, оснащенная системой автоматического ограничения перенапряжений, функционирующая на основе метода предварительного шунтирования обмоток силового трансформатора в период коммутации. Предложен принцип и алгоритм работы этой системы. Дано экспериментальное подтверждение эффективности снижения амплитуды коммутационных импульсов и вероятности их возникновения при использовании метода предварительного шунтирования обмоток силового трансформатора в период коммутации.

Введение

Участковая комплектная трансформаторная подстанция (КТП) как одно из ключевых звеньев в системе электроснабжения угольных шахт и рудников в значительной мере определяет надежность и бесперебойность её функционирования, а также безопасность персонала при эксплуатации электрооборудования участка шахты. В свою очередь, надежная работа участковой КТП в значительной степени определяется параметрами защиты её силового трансформатора от опасных (аварийных) состояний. Обычно, применительно к выпускающимся и выпускавшимся ранее КТП (серий ТСШВП, ТСВП, КТПВ и т. п.), максимальная токовая защита (МТЗ) силового трансформатора подстанции со стороны высшего напряжения осуществляется техническими средствами, входящими в структуру высоковольтной ячейки (КРУВ, РВД-6 и т. п.), которая, как правило, располагается на расстоянии нескольких километров от самой КТП. В таких условиях обеспечить качественную защиту трансформатора от токов короткого замыкания (к. з.) затруднительно, особенно, если от КТП запитаны мощные потребители, пусковые токи электродвигателей которых сопоставимы с током двухфазного к. з. на шинах низшего напряжения подстанции.

Техническим решением, способным повысить эффективность защитных функций КТП, является применение в цепи подключения обмоток высшего напряжения, в составе распределительного устройства высшего напряжения (РУВН) высоковольтного вакуумного, либо элегазового коммутационного аппарата (ВКА) [1, 2]. В частности, в КТП серии ТВПШ на ВКА воздействует высоковольтная группа защит, в которую входят: МТЗ силового трансформатора, защита от обрыва фаз, защита от асимметрии по току в обмотках высшего напряжения, защита от дуговых и искровых явлений в корпусе. Расширением функции управления стала возможность экстренного селективного отключения ВКА горным диспетчером шахты по каналу связи RS-485 [3]. Все это существенно повысило надежность работы подстанции и безопасность её эксплуатации. Следует отметить, что применение таких КТП позволяет рационализировать схему электроснабжения шахты, так как наличие ВКА в РУВН автоматически снимает ограничение правил безопасности на питание подстанций различной мощности от одного КРУВ [2, 4].

Однако, в ходе эксплуатации таких подстанций проявился существенный недостаток, а именно: силовой трансформатор такой КТП подвергался опасным коммутационным перенапряжениям (КП). Установлено, что штатные средства подавления КП в виде нелинейных ограничителей перенапряжения (ОПН), поставляемых в комплекте с ВКА, оказывались неэффективными вследствие размещения ВКА в непосредственной близости от силового трансформатора, обмотки которого обладают значительной нелинейной индуктивностью и малой собственной емкостью [5, 6, 7]. Поэтому разработка эффективных средств подавления КП для условий

функционирования КТП с ВКА является актуальной задачей, решение которой позволит повысить надёжность, как самой подстанции, так и системы электроснабжения участка шахты в целом.

Анализ исследований и публикаций

Наиболее опасным для изоляции является режим отключения трансформатора на холостом ходу. Импульс напряжения повышенной амплитуды возникает при отключении трансформатора. Это определяется первым законом коммутации, в соответствии с которым ток, протекающий через индуктивность, мгновенно измениться не может. Поэтому для поддержания тока i в обмотках с индуктивностью L на размыкаемых контактах создается ЭДС E, которая тем больше, чем больше индуктивность обмоток и чем меньше время коммутации t [8]:

$$E = -L \cdot \frac{di}{dt}. \qquad (1)$$

В момент отключения, характеризуемого фазовым углом φ, исходная магнитная энергия W_L, накопленная в индуктивности обмоток $L_{обм}$, и исходная электрическая энергия W_C, накопленная в эквивалентной ёмкости обмоток $C_{обм}$, состоящей из собственной параллельной ёмкости обмоток, а также ёмкости обмоток относительно «земли», определяются выражениями [9]:

$$W_L = \frac{L_{обм} \cdot I_m^2 \cdot \sin^2 \varphi}{2}; \qquad W_C = \frac{C_{обм} \cdot U_m^2 \cdot \cos^2 \varphi}{2}. \qquad (2)$$

Затем возникают электромагнитные колебания в цепи, состоящей из параллельного колебательного контура $L_{обм}$ и $C_{обм}$ (рис. 1).

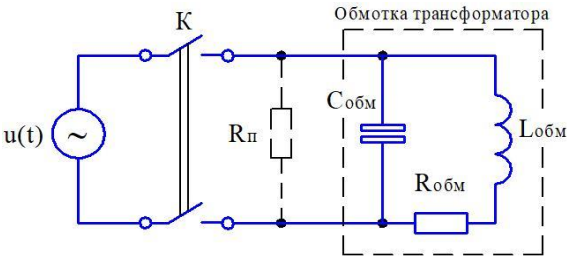


Рисунок 1 – Электрическая схема обмотки трансформатора

Активное сопротивление обмотки $R_{обм}$, а также потери в магнитопроводе вносят в этот колебательный процесс элемент затухания [10, 11].

Согласно закону сохранения энергии, максимальное напряжение U_{max} появится на ёмкости $C_{обм}$ в первый полупериод колебаний, когда вся энергия сосредоточится в ёмкости, в соответствии с уравнением:

$$\frac{C_{обм} \cdot U_{max}^2}{2} = \frac{L_{обм} \cdot I_m^2 \cdot \sin^2 \varphi}{2} + \frac{C_{обм} \cdot U_m^2 \cdot \cos^2 \varphi}{2}. \qquad (3)$$

Очевидно, что при ёмкости $C_{обм}$ = const, которая зависит только от конструктивных особенностей трансформатора, закон сохранения энергии выполняется за счёт роста напряжения U_{max}.

$$U_{max} = \sqrt{U_m^2 \cdot \cos^2 \varphi + \frac{L_{обм}}{C_{обм}} \cdot I_m^2 \cdot \sin^2 \varphi}. \qquad (4)$$

Исходя из выражения (4), при $\varphi = 0$ ° U_{max} принимает минимально возможное значение и будет равно амплитудному значению напряжения питания U_m. При $\varphi = 90$ ° U_{max} – максимально, и определяется исходя из выражения [12]:

$$U_{max} = \sqrt{\frac{L_{тр}}{C_{обм}} \cdot I_m^2}. \qquad (5)$$

Исследованиями [7, 13, 14, 15] на основании выражения (5) установлено, что возможны следующие способы подавления КП:

– применение разрядников или нелинейных ОПН, шунтирующих недопустимо-высокий импульс U_{max};

– увеличение $C_{обм}$ за счет присоединения дополнительных С- или RC-цепей к обмоткам трансформатора;

– управляемая коммутация (применение синхронного выключателя с коммутацией тока в момент его перехода через ноль);

– добавление дополнительной активной составляющей $R_п$ на период коммутации, способствующей интенсивному принудительному затуханию колебаний переходного процесса (рис. 1), предлагаемого в статье.

Очевидно, что если активное сопротивление $R_п$ будет подключено к обмотке постоянно, то в процессе работы в нем будут происходить значительные потери активной мощности, что недопустимо. Поэтому в работе [8] обосновано кратковременное подключение сопротивления $R_п$ к обмотке (на период процесса коммутации, длительность которого не превышает нескольких миллисекунд). Для этого электрическая схема КТП должна быть снабжена системой автоматического ограничения перенапряжений (САОП), которая должна работать синхронно с ВКА, подключая внешние сопротивления $R_п$ к обмоткам трансформатора в момент его включения и отключения.

Цель исследований

Целью исследования являются:

– обоснование технических решений в отношении оснащения шахтной участковой КТП системой САОП, функционирующей на основе метода предварительного шунтирования обмоток трансформатора в период коммутации;

– разработка алгоритма функционирования системы САОП в составе электрической схемы шахтной участковой КТП серии ТВПШ;

– экспериментальное подтверждение эффективности снижения амплитуды коммутационных импульсов и вероятности их возникновения при использовании метода предварительного шунтирования обмоток трансформатора системой САОП.

Результаты исследований

На рис. 2 представлена структурная схема шахтной участковой КТП серии ТВПШ 20-го типоисполнения, модернизированная системой САОП. Опуская общий алгоритм работы КТП, который подробно изложен в [3], рассмотрим особенности схемы в контексте функционирования системы САОП.

Схема КТП предполагает коммутацию ВКА (QF1) одним из следующих способов:

– кнопочными выключателями местного управления, размещенными на корпусе РУВН подстанции (включение и отключение);

– блоком защиты и управления трансформаторной подстанцией (БЗУ-ТП), при срабатывании одной из защит высоковольтной группы (только отключение), в том числе отключение ВКА диспетчером шахты по каналу связи RS-485;

– при срабатывании защиты нулевого напряжения.

При подаче команды на переключение ВКА, блок автоматической синхронизации коммутаций (БАСК) включает коммутационные аппараты К1 и К2, в результате чего обмотки силового трансформатора Т шунтируются резисторами R1-R3 (обмотки ВН) и R4-R6 (обмотки НН). При подтверждении включенного состояния К1 и К2 БАСК, воздействуя на блок управления высоковольтным коммутационным аппаратом (БУВК), подает команду на переключение ВКА. Получив данные о завершении коммутационного процесса, БАСК отключает коммутационные аппараты К1 и К2. Для корректной работы при срабатывании защиты нулевого напряжения, САОП должна иметь источник внешнего питания (ИРП) в виде аккумулятора или накопительного конденсатора, энергии которого должно быть достаточно для однократного срабатывания САОП при отсутствии напряжения питания сети.

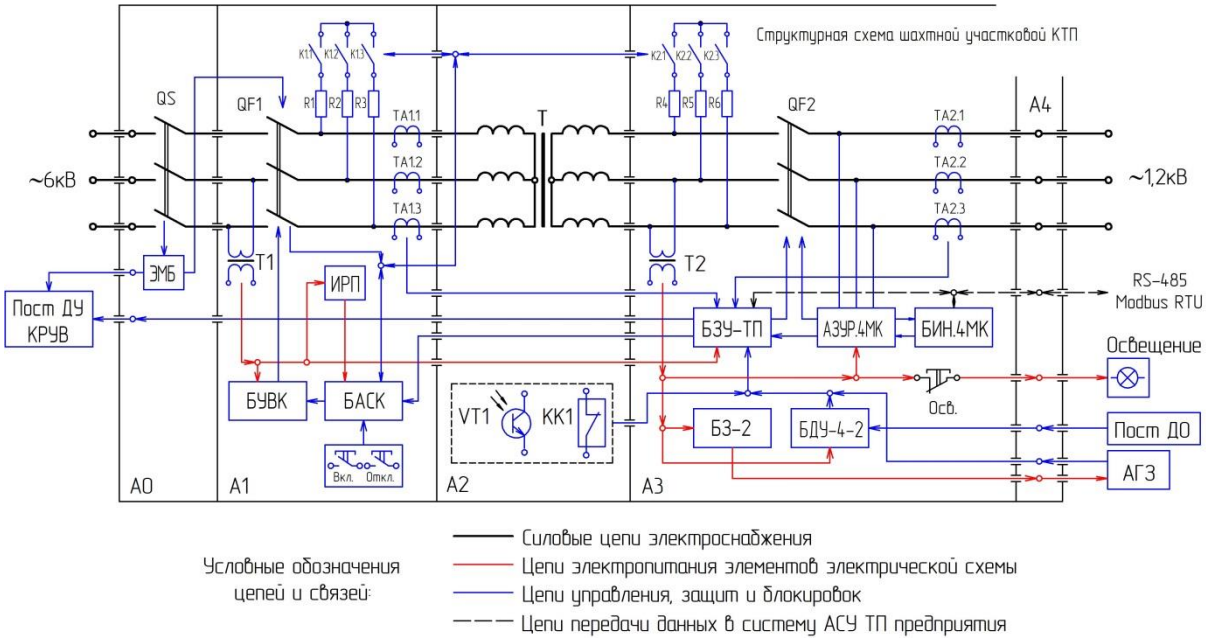


Рисунок 2 – Структурная схема шахтной участковой КТП с системой САОП

Эффективность работы САОП следует признать удовлетворительной, если амплитуды коммутационных импульсов в процессе работы не превысят амплитудное значение приложенного испытательного одноминутного напряжения промышленной частоты, при испытании электрической прочности продольной изоляции силового трансформатора. Для проверки эффективности работы САОП были проведены исследования на стенде, принципиальная электрическая схема которого представлена на рис. 3.

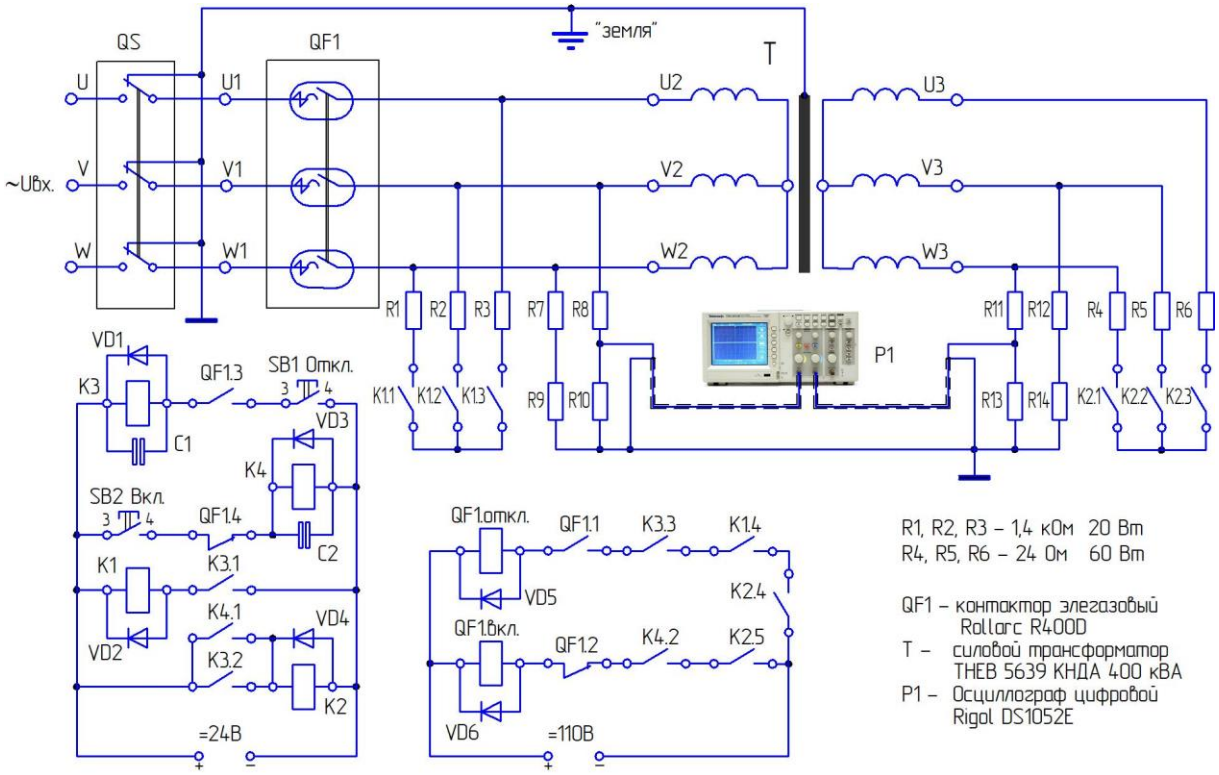


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная исследовательского стенда

В состав стенда входят:

– разъединитель с короткозамыкателем *QS*;

– элегазовый контактор *QF1* Rollarc R400D;

– силовой трансформатор *T* типа ТНЕВ 5639 КНДА;

– шунтирующие резисторы *R1-R3* номиналом 1,4 кОм и *R4-R6* – номиналом 24 Ом;

– коммутирующее устройство *K1*, выполненное на базе высоковольтных герконов типа МКА-40142;

– коммутирующее устройство *K2*, выполненное на магнитном пускателе типа ПМЛ-63;

– кнопки включения контактора *SB1* и отключения *SB2* с соответствующими реле К3 и К4 типа РП-21.

Фиксация переходных процессов выполняется с помощью цифрового осциллографа Rigol DS1052E, через делители напряжения на резисторах *R7-R10* и *R11-R14*.

Согласно [13, 14, 16], ожидаемая максимальная кратность коммутационных перенапряжений в результате работы стенда может превысить 10 и более:

$$K_{ож} = U_{max} / U_m \approx 10 \qquad (6)$$

При номинальном напряжении питания U_c = 6 кВ ($U_m = U_c \cdot 1{,}41$ = 8460 В), амплитуда коммутационного импульса способна превысить $U_{max} = K_{ож} \cdot U_m$ = 84600 В. Такой уровень напряжения (даже кратковременный) способен повредить изоляцию трансформатора и вывести его из строя. Поэтому испытания проводились при пониженном напряжении сети U_c = 1,2 кВ ($U_m = U_c \cdot 1{,}41$ = 1692 В). В этом случае $U_{max} = K_{ож} \cdot U_m$ = 16920 В, что допустимо.

Значения резисторов *R1-R6* выбраны исходя из принципа:

$$I_R = (0{,}01 \ldots 0{,}02) \cdot I_H,$$

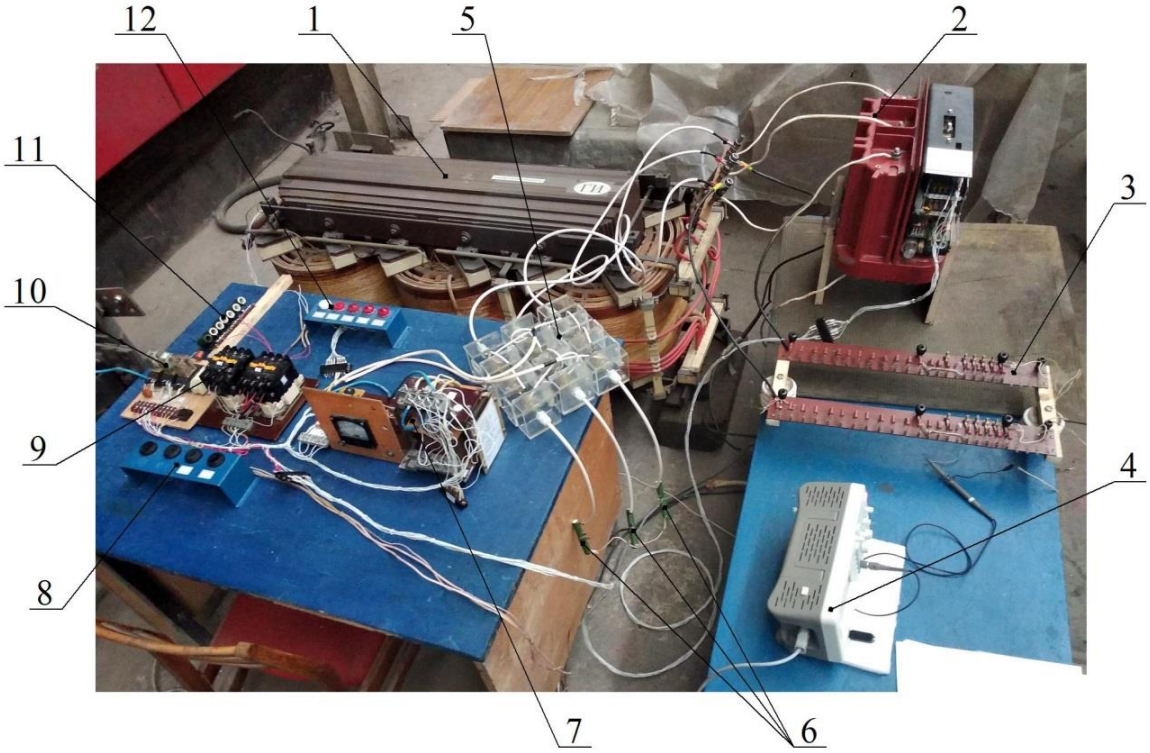
где I_R – ток через шунтирующее сопротивление;

I_H – номинальный ток силового трансформатора *T*.

В большей степени этот принцип определен максимально допустимым током коммутатора *K1* и температурой шунтирующих сопротивлений в процессе исследований.

Схема работает следующим образом. При нажатии на кнопку *SB2* включается реле *K4*, которое своим контактом *K4.1* включает коммутатор *K2*. Выключатель *QF1* включится лишь тогда, когда *K4* и *K2* будут также находиться во включенном состоянии (блок-контакты *K4.2* и *K5.2* должны быть замкнуты). Включившись, *QF1* своим блок-контактом *QF1.4* разрывает цепь питания реле *K4* которое, в свою очередь, отключает коммутатор *K2*. *QF1* остается во включенном состоянии, удерживаемый механической защелкой. Процесс отключения *QF1* происходит аналогичным образом после нажатия на кнопку *SB1*. Различия между процессами включения и отключения состоят

лишь в том, что при отключении шунтируется не только вторичная, но и первичная обмотка трансформатора, используя в алгоритме работы коммутатор *K1*. Диоды *VD1-VD6* подавляют обратную ЭДС самоиндукции катушек реле, устраняя помехи в измерительной цепи. Конденсаторы *C1* и *C2* используются для временно́й задержки, чтобы отключение *K1* и *K2* происходило только после завершения переходного процесса. Общий вид исследовательского стенда показан на рис. 4.



1 – силовой трансформатор *T*; 2 – элегазовый контактор *QF1*; 3 – схема измерительного делителя;
4 – осциллограф; 5 – коммутатор *K1*; 6 – шунтирующие резисторы *R1*, *R2*, *R3*;
7 – источник питания; 8 – кнопки управления *SB1*, *SB2*; 9 – коммутатор *K2*;
10 – управляющие реле *K3*, *K4*; 11 – шунтирующие резисторы *R4*, *R5*, *R6*;
12 – индикаторы состояния коммутационных устройств (на электрической схеме не показаны).

Рисунок 4 – Общий вид исследовательского стенда

Программа исследований включала в себя снятие осциллограмм переходного процесса коммутации трансформатора в обмотках ВН и НН с средствами ограничения перенапряжений и без таковых.

Осциллографирование переходного процесса в обмотке ВН при отключении трансформатора без применения средств подавления КП (коммутация происходит при отключенных резисторах R1-R3, R4-R6). Осциллограмма коммутационного импульса с наибольшей амплитудой представлена на рис. 5а, статистическая гистограмма вероятностей – на рис. 6а.

Осциллографирование переходного процесса в обмотке ВН при отключении трансформатора с автоматическим шунтированием только обмотки ВН (резисторы R1-R3 подключены, R4-R6 отключены). Осциллограмма коммутационного импульса с наибольшей амплитудой представлена на рис. 5б, статистическая гистограмма вероятностей – на рис. 6б.

Осциллографирование переходного процесса в обмотке ВН при отключении трансформатора с автоматическим шунтированием только обмотки НН (резисторы R1-R3 отключены, R4-R6 подключены). Осциллограмма коммутационного импульса с наибольшей амплитудой представлена на рис. 5в, статистическая гистограмма вероятностей – на рис. 6в.

Осциллографирование переходного процесса в обмотке ВН при отключении трансформатора с автоматическим шунтированием обмоток ВН и НН (резисторы R1-R3 и R4-R6 подключены). Осциллограмма коммутационного импульса с наибольшей амплитудой представлена на рис. 5г, статистическая гистограмма вероятностей – на рис. 6г.

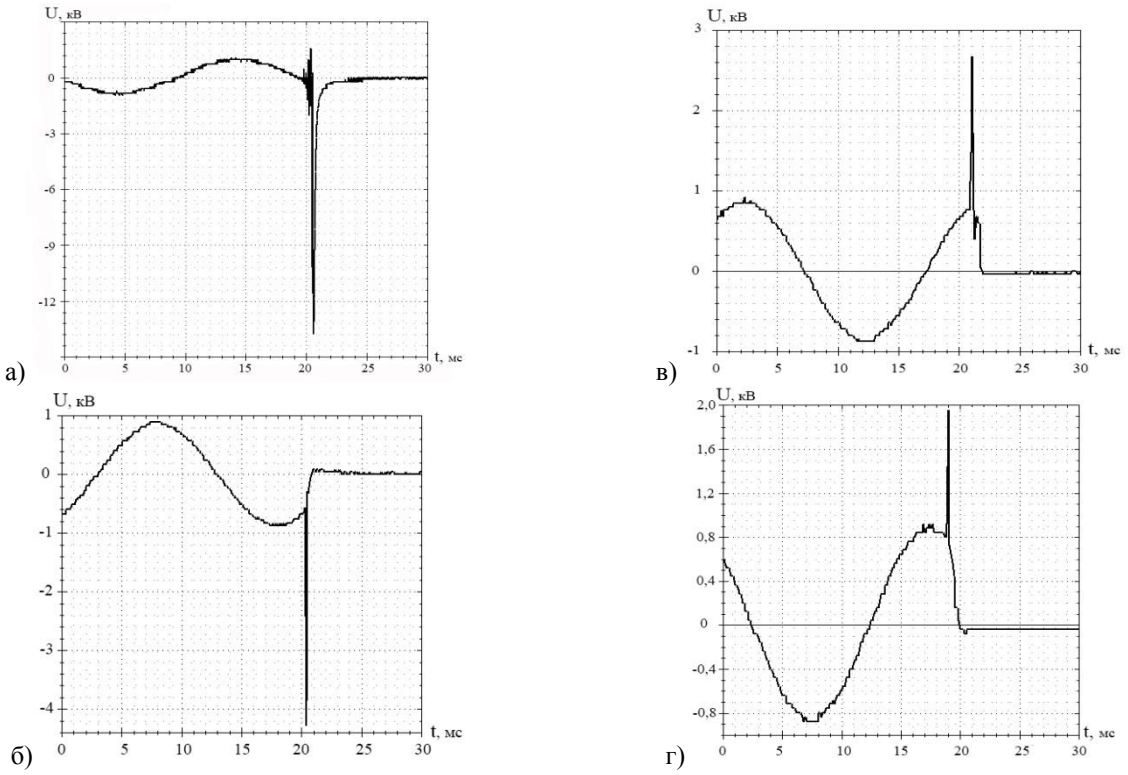


Рисунок 5 – Осциллограммы коммутационных перенапряжений в обмотке ВН силового трансформатора при его отключении: а) резисторы R1-R3, R4-R6 отключены; б) резисторы R1-R3 подключены, R4-R6 отключены; в) резисторы R1-R3 отключены, R4-R6 подключены; г) резисторы R1-R3, R4-R6 подключены

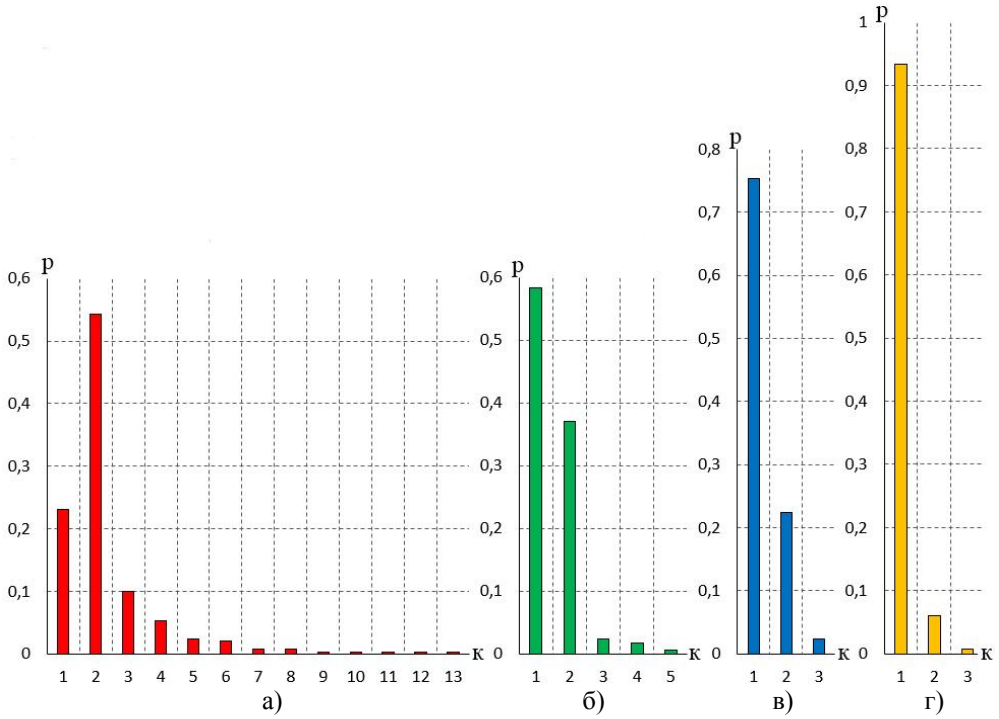


Рисунок 6 – Вероятности (p) возникновения коммутационных перенапряжений с кратностью (k) в обмотке ВН силового трансформатора при его отключении: а) резисторы R1-R3, R4-R6 отключены; б) резисторы R1-R3 подключены, R4-R6 отключены; в) резисторы R1-R3 отключены, R4-R6 подключены; г) резисторы R1-R3, R4-R6 подключены

Осциллографирование переходного процесса в обмотке НН при отключении трансформатора без применения средств подавления КП (коммутация происходит при отключенных резисторах R1-R3, R4-R6). Осциллограмма коммутационного импульса с наибольшей амплитудой представлена на рис. 7а, статистическая гистограмма вероятностей – на рис. 8а.

Осциллографирование переходного процесса в обмотке НН при отключении трансформатора с автоматическим шунтированием только обмотки ВН (резисторы R1-R3 подключены, R4-R6 отключены). Осциллограмма коммутационного импульса с наибольшей амплитудой представлена на рис. 7б, статистическая гистограмма вероятностей – на рис. 8б.

Осциллографирование переходного процесса в обмотке НН при отключении трансформатора с автоматическим шунтированием только обмотки НН (резисторы R1-R3 отключены, R4-R6 подключены). Осциллограмма коммутационного импульса с наибольшей амплитудой представлена на рис. 7в, статистическая гистограмма вероятностей – на рис. 8в.

Осциллографирование переходного процесса в обмотке НН при отключении трансформатора с автоматическим шунтированием обмоток ВН и НН (резисторы R1-R3 и R4-R6 подключены). Осциллограмма коммутационного импульса с наибольшей амплитудой представлена на рис. 7г, статистическая гистограмма вероятностей – на рис. 8г.

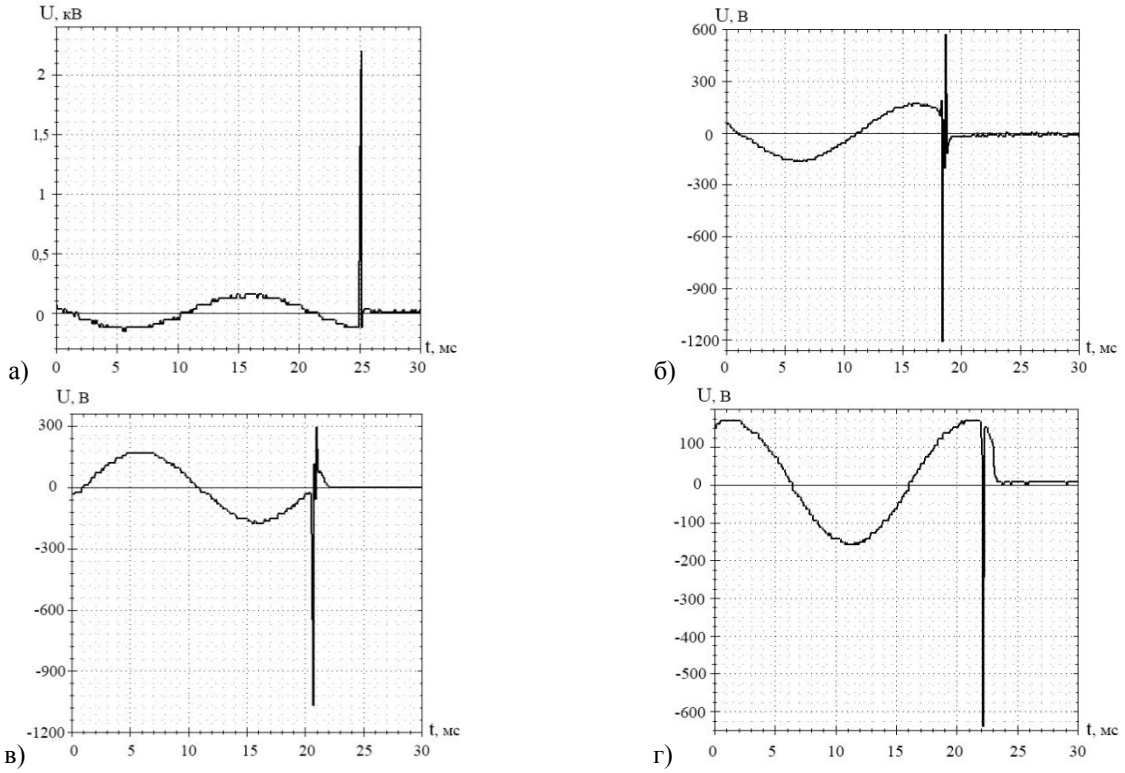


Рисунок 7 – Осциллограммы коммутационных перенапряжений в обмотке НН силового трансформатора при его отключении: а) резисторы R1-R3, R4-R6 отключены; б) резисторы R1-R3 подключены, R4-R6 отключены; в) резисторы R1-R3 отключены, R4-R6 подключены; г) резисторы R1-R3, R4-R6 подключены

Осциллографирование переходного процесса в обмотке ВН при включении трансформатора без применения средств подавления КП (коммутация происходит при отключенных резисторах R1-R3, R4-R6). Осциллограмма коммутационного импульса с наибольшей амплитудой представлена на рис. 9а, статистическая гистограмма вероятностей – на рис. 10а.

Осциллографирование переходного процесса в обмотке ВН при включении трансформатора с автоматическим шунтированием только обмотки НН (резисторы R1-R3 отключены, R4-R6 подключены). Осциллограмма коммутационного импульса с наибольшей амплитудой представлена на рис. 9б, статистическая гистограмма вероятностей – на рис. 10б.

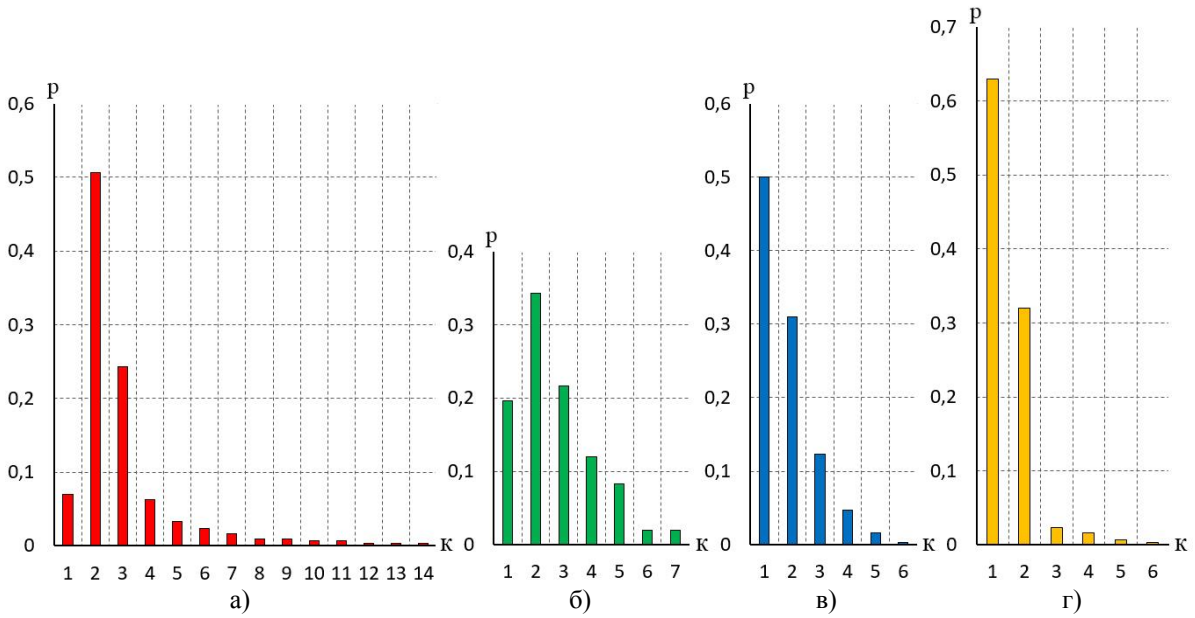


Рисунок 8 – Вероятности (p) возникновения коммутационных перенапряжений с кратностью (k) в обмотке НН силового трансформатора при его отключении: а) резисторы R1-R3, R4-R6 отключены; б) резисторы R1-R3 подключены, R4-R6 отключены; в) резисторы R1-R3 отключены, R4-R6 подключены; г) резисторы R1-R3, R4-R6 подключены

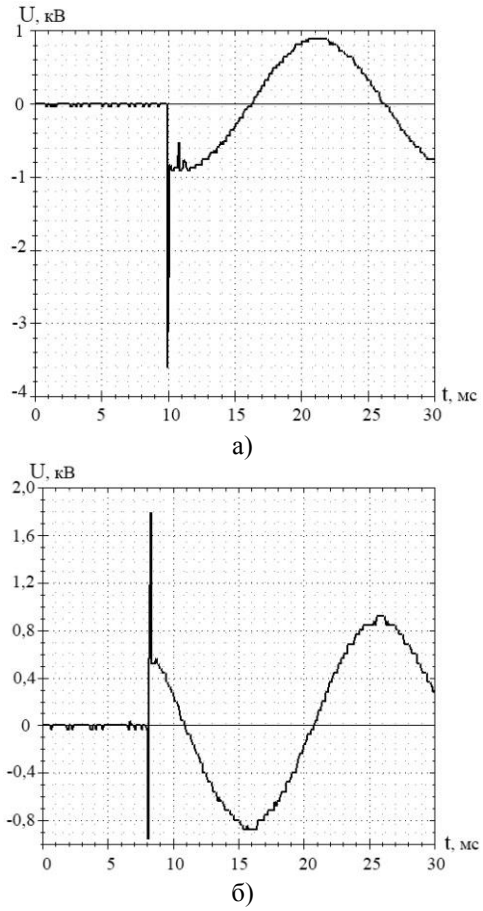


Рисунок 9 – Осциллограммы коммутационных перенапряжений в обмотке ВН силового трансформатора при его включении: а) резисторы R1-R3, R4-R6 отключены; б) резисторы R1-R3 отключены, R4-R6 подключены

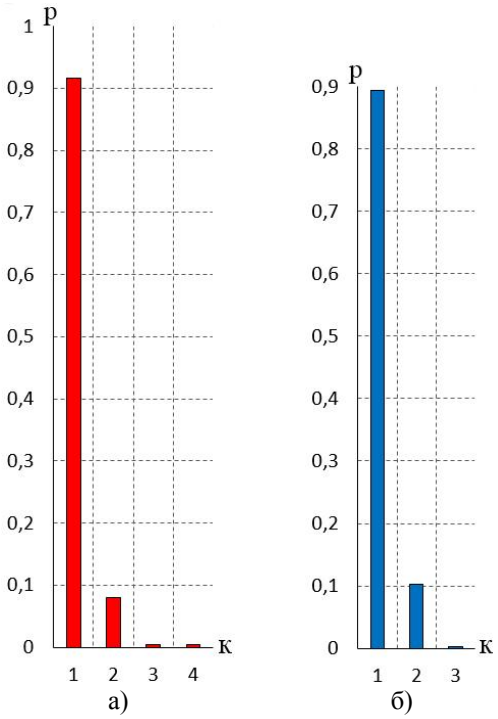


Рисунок 10 – Вероятности (p) возникновения коммутационных перенапряжений с кратностью (k) в обмотках ВН силового трансформатора при его включении: а) резисторы R1-R3, R4-R6 отключены; б) резисторы R1-R3 отключены, R4-R6 подключены

Осциллографирование переходного процесса в обмотке НН при включении трансформатора без применения средств подавления КП (коммутация происходит при

отключенных резисторах R1-R3, R4-R6). Осциллограмма коммутационного импульса с наибольшей амплитудой представлена на рис. 11а, статистическая гистограмма вероятностей – на рис. 12а.

Осциллографирование переходного процесса в обмотке НН при включении трансформатора с автоматическим шунтированием только обмотки НН (резисторы R1-R3 отключены, R4-R6 подключены). Осциллограмма коммутационного импульса с наибольшей амплитудой представлена на рис. 11б, статистическая гистограмма вероятностей – на рис. 12б.

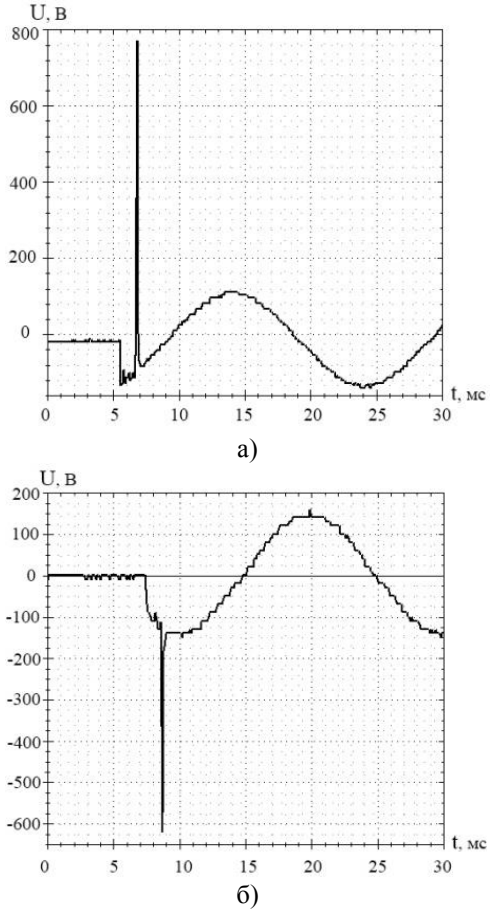


Рисунок 11 – Осциллограммы коммутационных перенапряжений в обмотке НН силового трансформатора при его включении: а) резисторы R1-R3, R4-R6 отключены; б) резисторы R1-R3 отключены, R4-R6 подключены.

Для каждого из вышеприведенных условий было выполнено по 300 коммутаций выключателя QF1.

В процессе исследований, при отключении трансформатора были зафиксированы импульсы КП, достигающие 13-кратных значений в обмотке ВН и 14-кратных значений в обмотке НН. С применением шунтирующих сопротивлений как в обмотках ВН и НН, так и только в обмотке НН максимальная амплитуда импульсов КП в обмотке ВН снизилась до допустимого уровня и не превысила 3-кратной величины, в то время как в обмотке НН, наблюдались 6-кратные перенапряжения.

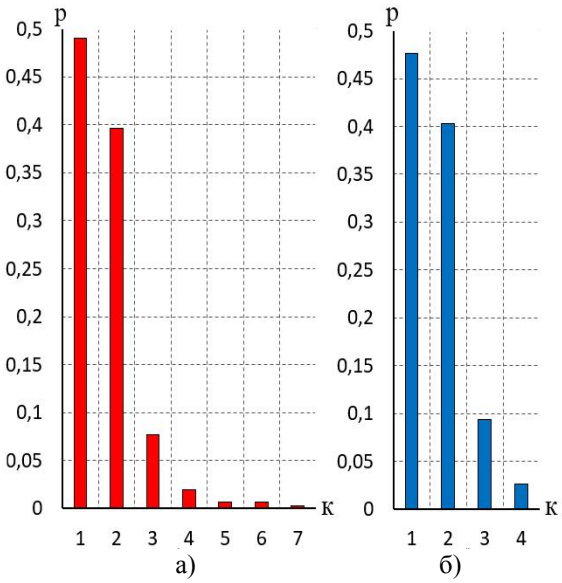


Рисунок 12 – Вероятности (p) возникновения коммутационных перенапряжений с кратностью (k) в обмотках НН силового трансформатора при его включении: а) резисторы R1-R3, R4-R6 отключены; б) резисторы R1-R3 отключены, R4-R6 подключены

Уровень перенапряжений, полученный при включении трансформатора, достигал в импульсе 4-кратного значения к амплитудному напряжению питающей сети в обмотках ВН и 7-кратного значения к амплитудному напряжению питающей сети в обмотках НН. При шунтировании обмотки НН, перенапряжения в обмотке ВН снизились до допустимого 3-кратного значения, а в обмотке НН – до 4-кратной амплитуды.

Выводы

В результате проведенных исследований выявлено, что предложенный метод ограничения КП при помощи предварительного шунтирования обмоток трансформатора, показал высокую эффективность и способность при определённых значениях шунтирующих сопротивлений снижать опасные амплитуды импульсов КП до уровня допустимых значений. Предварительный анализ полученных результатов показал, что достаточный уровень снижения амплитуды КП как в обмотках ВН, так и в обмотках НН может быть достигнут шунтированием обмоток трансформатора только со стороны НН.

Представленный метод снижения амплитуды КП предлагается к реализации

в электрической схеме КТП с помощью интегрированной системы САОП, которая может быть выполнена как на релейно-контактной, так и на полупроводниковой элементной базе с применением микропроцессорной техники.

Литература

1. Пат. № 152786 Российская Федерация, H02B 7 / 06 (2006.01). Распределительное устройство высшего напряжения трансформаторной подстанции / Кузнецов В. Л., Губин Т. И., Подолян С. В. - № 2014127227 / 07 заявл. 03.07.2014; опубл. 20.06.2015, Бюл. № 17.

2. Мнухин А. Г. Пути развития конструкций рудничных высоковольтных распределительных устройств / А. Г. Мнухин, А. В. Антипин, В. А. Гаврилко, А. П. Лихван // Уголь Украины, 2013. - №1. – С. 20-24.

3. Савицкий А. В. Управление и защита современных взрывозащищенных комплектных трансформаторных подстанций / А. В. Савицкий // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. ГУ «НИИВЭ» - Донецк: ООО «Восток Пресс Плюс», 2016. – С. 76-82.

4. Вареник Е. А. Идеология построения электрических защит взрывобезопасных трансформаторных подстанций серии ТВПШ / Е. А. Вареник, И. Я. Чернов, Е. В. Золотарев, А. В. Савицкий, В. Н. Савицкий // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. ГУ «НИИВЭ». – Донецк: ООО «Типография Восток Пресс», 2017. - № 1 (52). – С. 14-24.

5. Маренич К. Н. Проблемные вопросы применения высоковольтного вакуумного выключателя в конструкции шахтной участковой трансформаторной подстанции / К. Н. Маренич, И. Я. Чернов, Е. В. Золотарев // Вестник Донецкого национального технического университета. - Донецк: ДонНТУ, 2019. - Вып. 4 (18). – С. 53-61.

6. Золотарев Е. В. Исследование коммутационных перенапряжений в трансформаторе шахтной участковой подстанции / Е. В. Золотарев // Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2019): сборник трудов XVII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – т. 2. – С. 142-147.

7. Лебедев И. А. Исследование процессов коммутации вакуумными выключателями индуктивной нагрузки и разработка технических требований к синхронным вакуумным выключателям: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.14.12 / И. А. Лебедев: ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет». – Новосибирск, 2012. – 20 с.

8. Мнухин А. Г. Защита электрических сетей шахт от коммутационных перенапряжений / А. Г. Мнухин, Б. И. Коневский. – М: Недра, 1987. – 143 с.

9. Дегтярев И. Л. Теоретическое и экспериментальное исследование процессов, сопровождающих коммутации вакуумными выключателями: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.14.12 / И. Л. Дегтярев: ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет». – Новосибирск, 2006. – 24 с.

10. Евдокунин Г. А. Трансформаторы в электрической сети. Моделирование переходных процессов с учетом конфигурации магнитной системы / Г. А. Евдокунин, М. В. Дмитриев // Новости электротехники. – 2008. - №5 (53). – С. 2–7.

11. Horiszny J. Implementation of power transformer controlled switching algorithm / J. Horiszny. - International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, – 2016. – Vol. 35. – Iss. 4. – P.1418–1427.

12. Jianming Li. Measurement and analysis of overvoltages in power systems / Li Jianming. – John Wiley & Sons, Singapore Pte Ltd, 2018. – 370 p.

13. Евдокунин Г. А. Перенапряжения при коммутации цепей вакуумными выключателями и их ограничение / Г. А. Евдокунин, А. А. Корепанов. – Электричество, 1998. - № 4. – С. 2-14.

14. Гарганеев А. Г. Ограничение перенапряжений при коммутациях шахтного электрооборудования / А. Г. Гарганеев, Н. А. Михневич, Д. В. Нестеров, А. В. Федоров // Изв. Томского политехн. ун-та. – Томск, 2012. - № 4. – С. 51-56.

15. Hasse P. Overvoltage protection of low voltage systems. Second edition. / Peter Hasse. – Power and energy series no.33. – Published by The Institution of Engineering and Technology, London, 2008. – 370 p.

16. Xue H. Analysis of Switching Transient Overvoltage in the Power System of Floating Production Storage and Offloading Vessel / Haoyan Xue // Master of Science Thesis. - Delft University of Technology, 2012. – 88 p.

Чернов И. Я., Золотарев Е. В., Ковалёва И. В. Система автоматического ограничения перенапряжений как структура управления коммутационными процессами в силовом трансформаторе шахтной участковой трансформаторной подстанции. *Рассмотрены результаты лабораторных исследований коммутационных перенапряжений, возникающих в обмотках сухого трансформатора мощностью 400 кВА при его коммутации элегазовым контактором типа Rollarc R400D. Разработана электрическая схема шахтной участковой трансформаторной подстанции, оснащенная системой автоматического ограничения перенапряжений, функционирующая на основе метода предварительного шунтирования обмоток силового трансформатора в период коммутации. Предложен принцип и алгоритм работы этой системы. Дано экспериментальное подтверждение эффективности снижения амплитуды коммутационных импульсов и вероятности их возникновения при использовании метода предварительного шунтирования обмоток силового трансформатора в период коммутации.*

Ключевые слова: *трансформаторная подстанция, коммутационное перенапряжение, ограничение, метод шунтирования, автоматическая система, электрическая схема, алгоритм.*

Chernov I., Zolotarev Y., Kovalyova I. Automatic overvoltage limiting system as a control structure for switching processes in a power transformer of a mine transformer substation. *The results of laboratory studies of switching overvoltages arising in the windings of a 400 kVA dry transformer when it is switched by a Rollarc R400D type contactor are considered. An electrical circuit has been developed for a mine transformer substation equipped with an automatic overvoltage limiting system based on the method of preliminary shunting of power transformer windings during the switching period. The principle and algorithm of the functioning of this system are proposed. Experimental confirmation of the effectiveness of reducing the amplitude of switching pulses and the probability of their occurrence using the method of preliminary shunting of the windings of a power transformer is given.*

Keywords: *transformer substation, switching overvoltage, restriction, bypass method, automatic system, electrical circuit, algorithm.*

Статья поступила в редакцию 24.03.2020
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

УДК 004.03

Сравнительный анализ и закономерности развития процессоров AMD и Intel

Н. С. Максименко
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
nata.demesh@gmail.com

Аннотация
В статье проведен анализ закономерностей развития компьютерных систем и наиболее распространенных процессоров. В ходе анализа выявлено, что темпы развития процессоров соответствуют общей динамике экспоненциального развития компьютерных технологий. В данной области сохраняется устойчивый рост производительности компьютерных систем. Выявлены предпосылки к постоянному усложнению компьютерных систем и связей между ними. На основе выполненного анализа составлена хронология развития процессоров. Выполнена сравнительная характеристика процессоров двух производителей – AMD и Intel.

Введение

Беспрецедентно быстрый прогресс в области компьютерных технологий требует тщательного анализа и оценки дальнейших перспектив развития вычислительной техники.

Наращивание производительности компьютерных систем изначально было напрямую связано с ростом тактовой частоты процессора. По мере развития технология и приближения проектных норм к единицам нанометров начали существенно сказываться физические ограничения, проявляющиеся, в частности, в том, что дальнейшее увеличение степени интеграции транзисторов на микросхеме, напрямую связанное с возможностями роста частоты, начало затрудняться различными квантовыми эффектами, резко снижающими надежность вычислений. Наращивание производительности в настоящее время происходит в основном за счет роста параллелизма. На сегодняшний день почти все выпускаемые процессоры являются многоядерными устройствами.

Цель и задачи статьи

Целью данной работы является определение закономерностей развития процессоров, типичных для современных компьютерных систем. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

– систематизировать и проанализировать хронологию выпуска процессоров;

– проанализировать ранее выполненные работы, систематизировавшие эмпирические наблюдения, характеризующие динамику экспоненциального развития компьютерных технологий;

– выполнить сравнительный анализ результатов ведущих фирм, занимающихся выпуском процессоров;

– определить наиболее значимые закономерности развития.

История развития вычислительной техники

Эволюцию вычислительной техники (ВТ) представляют как последовательную смену поколений ВТ. Термин «поколение» применительно к ВТ начал использоваться в 1964 году в связи с тем, что фирма IBM своё новое семейство ЭВМ, впервые реализованное на интегральных микросхемах, объявило третьим поколением, принципиально отличающимся от второго поколения на дискретных полупроводниковых элементах, выпускавшегося в 1955–1964 гг. С того времени каждое новое поколение привязывается к смене технологий. Ниже кратко охарактеризуем каждое из них по материалам работ [1–4].

Нулевое поколение («Механическая» эра) на основе механических устройств, в которых вначале было зубчатое колесо, впоследствии уступившее место электромеханическому реле.

Первое поколение (1945–1954) – компьютеры на электронных лампах. Предполагалось, что электронные ключи будут надежнее, так как в них отсутствуют движущиеся части. Фактически, по надежности электронные лампы оказались ненамного лучше, чем реле. Однако у электронных компонентов имелось одно важное преимущество: выполненные на них ключи могли переключаться примерно в тысячу раз быстрее.

Второе поколение (1955–1963) – компьютеры на транзисторах. Считается, что поводом для выделения нового поколения

вычислительных машин стали технологические изменения.

Третье поколение (1964–1973) – компьютеры на микросхемах с малой степенью интеграции. В данный период происходят изменения в архитектуре вычислительных машин, а также в этот период появляются первые операционные системы.

Четвертое поколение (1974–1983). В этот период времени происходит смена микросхем с малой степенью интеграции на интегральные микросхемы большой (large-scale integration, LSI) и сверхбольшой (very large-scale integration, VLSI) степени интеграции. С появлением на тот момент новых технологий стало возможным уместить в одну микросхему не только центральный процессор, но и другие компоненты вычислительной машины.

Пятое поколение (1984–1993) – компьютеры на микропроцессорах. Причиной выделения вычислительных систем в отдельное поколение стало появление 32-битных микропроцессоров Intel 80386, которые предусматривают возможность использования сопроцессора с плавающей запятой Intel 80387, что положило начало массовому развитию вычислительных систем с множеством процессоров и параллельными вычислениями.

С начала 1990-х годов традиционный счёт поколений вычислительной техники полностью уступил место фирменным обозначениям поколений процессоров, сменявшихся в среднем каждые 3–4 года.

Закономерности развития компьютерных систем

Гордон Мур (один из основателей фирмы Intel) в 1965 году, подводя итоги первого десятилетия развития полупроводниковой элементной базы и начального периода развития интегральных микросхем, формулирует закон, который звучит следующим образом: «Количество элементов на кристаллах электронных микросхем будет и далее удваиваться каждый год». Однако спустя 10 лет в 1975 году Мур вносит в свой закон коррективы, согласно которым удвоение числа транзисторов будет происходить каждые два года (24 месяца) (рис. 1). Теперь закон приобрел следующий вид: «Число транзисторов на кристалле удваивается каждые два года».

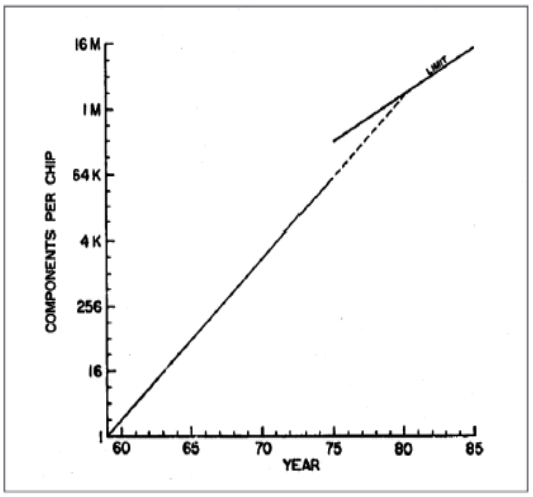


Рисунок 1 – Закон Гордона Мура 1975 года

На данный момент существует два варианта закона Мура, которые можно обозначить в соответствии с годом их появления как «закон Мура 1965» и «закон Мура 1975» [5].

Закономерности развития компонентов компьютерных систем изучались и продолжают исследоваться в Донецкого национального технического университета под руководством А. Я. Аноприенко, который, в частности, в работе [5] приводит пример более точной оценки роста производительности, определяющей десятикратный рост каждые 4 года, что предполагает более точную оценку ежегодного коэффициента роста (EKP): 1,77828. Это примерно соответствует значению EKP $\sqrt{\pi} = 1,7725.$

Результаты исследований автора приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Закон Мура и реальные коэффициенты роста

Закономерность	Основной период (лет)	Коэффициент роста за основной период	Ежегодный коэффициент роста (EKP)
Закон Мура 1965	1	2	2
Закон Мура 1975	2	2	$\sqrt{2} = 1,4$
Современный «закон Мура»	1,5	2	1.5874
В 10 раз за 4 года	**4**	**10**	**1,77828**
В π раз за 2 года	2	π	$\sqrt{\pi} = 1,7725$

В целом, проанализировав работы Аноприенко А. Я., можно сделать вывод, что достаточно полная периодическая система развития компьютерных систем может быть сформирована на основе известных ранее и выявленных эмпирических закономерностей

развития как компьютерных систем в целом, так и отдельных их компонентов. Такая периодическая система позволяет достаточно хорошо объяснять динамику развития средств и методов компьютинга в прошлом и уверенно прогнозировать их развитие в будущем [5–10].

Анализ и закономерности развития процессоров

В предыдущем разделе статьи была рассмотрена эволюция компьютерных систем в целом. Теперь настала очередь проследить за тем, как развивались центральные процессоры.

Рассмотрим эволюцию процессорной техники в хронологическом порядке:

В 40-х годах XX века появляются первые процессоры. Как, это было рассмотрено ранее работали они с помощью электромеханических реле и вакуумных ламп. Компьютер того времени представлял собой огромный корпус размером с большую комнату. В процессе работы он выделял большое количество энергии, а его быстродействие оставляло желать лучшего.

1950-е года ознаменовались применением транзисторов в конструкции процессоров.

В 1960-х годах начинает развиваться технология изготовления интегральных схем.

В 1971 году появляются первые микропроцессоры. На рынок поступает модель 4004, разработанная компанией Intel. Выпускаемая модель имеет следующие характеристики: чип производится по 10-мкм техпроцессу; количество транзисторов – 2300; частота работы – 740 кГц.

Спустя три года (в 1974 году) после выхода процессора Intel 4004 Intel выпускает процессор 4040. Несмотря на то, что параметры процессора не изменились, процессор стал немного «сложнее» и получил более богатый набор функций.

Помимо 4-битных процессоров, в это же время Intel выпускает 8-битную модель – 8008. По своей структуре чип представлял собой 8-битную версию процессора 4004 только с меньшей тактовой частотой. Технические характеристики 8008 были во многом схожи с 4004.

Как и в случае со своим предшественником, процессор 8008 спустя некоторое время после некоторых усовершенствований также получил обновление в лице чипа 8080.

В 1978 году компанией Motorola был выпущен процессор 6800. В этот период времени компания Motorola являлась главным конкурентом Intel [11].

Когда 4-битные, а затем 8-битные кристаллы исчерпали свой потенциал, производители принялись за разработку 16-разрядных процессоров.

8 июня 1978 года был официально анонсирован процессор Intel 8086. Процессор имел следующие технические характеристики: производился по 3-мкм техпроцессу; количество транзисторов – 29 000; тактовая частота – от 4 до 10 МГц.; разрядность регистров и шины данных – 16 бит; разрядность адресной шины – 20 бит; объем памяти – 1 Мбайт.

Быстродействие нового процессора (Intel 8086) была примерно в 10 раз быстрее, чем у его предшественника 8080. В результате чего процессор (Intel 8086) стал первой реализацией системы команд ×86 и архитектуры, которая впоследствии становится стандартом и используется фирмами AMD и Intel в кристаллах и по сей день.

Новый проект Intel – процессор 80186. Этой разработкой инженеры фирмы занялись сразу после окончания разработки 8086. Новый чип базировался на той же архитектуре, что и его предшественник. Совместно с 80186, в Intel велась разработка процессора с индексом 80286, поэтому его тоже можно считать переработанным «восемьдесят шестым» [12].

Кристалл с индексом 80386, ставший первым 32-разрядным процессором, фирма Intel выпускает спустя три года после выхода 80286. Intel 80386 претерпевает множество изменений несмотря на то, что он всё ещё основывался на ×86-архитектуре и сохранял обратную совместимость с процессорами 8086 и 80286. Еще долгие годы архитектура ×86 не получала значительных изменений, как в случае с процессором 80386.

В июне 1988 года выходит более дешевая модель 386SX, ее же предшественница получает приставку DX (Double-word eXternal). Тактовая частота 386DX с годами увеличивалась от 16 МГц до 33 МГц [13].

В 1993 году на рынке появляется следующие поколение процессоров – Pentium, которое базировалось на архитектуре P5.

В 1996 году P5 обновляется до версии P55C. Новая архитектура поддерживает набор команд MMX (MultiMedia eXtension), за счет чего объем кэш-памяти был увеличен до 32 Кбайт, а производство было переведено на 0,28-мкм техпроцесс. Частота процессоров увеличилась до 233 МГц, что завершает развитие ядра P5.

В 1995 году была представлена архитектура P6 на CISC-платформе с RISC-ядром.

В том же 1995 году были представлены процессоры следующего поколения Pentium Pro со следующими техническими характеристиками: частота – 150-200 МГц; кэш-память первого уровня – 16 Кбайт; кэш-память второго уровня до 1 Мбайт. Pentium Pro вскоре стали использовать, как сервера.

В 1997 году начинают выпускать Pentium II. Частота процессора – 300 МГц.

В 1998 году в продаже появились процессоры с ядром P6 (Deschutes) с частотой 450 МГц.

В 1999 году были представлены процессоры Pentium III с ядром P6 (Katmai) с частотой 600 МГц.

В конце 1999 года ядро Coppermine меняет Katmai с частотой 1,13 ГГц [14].

Также у создателей были и не удачные архитектуры (NetBurst). Процессоры Pentium 4 показали, что данная архитектура не может достойно конкурировать с AMD K8.

В 2008 году пришла более совершенная микроархитектура Core.

После 2008 года Intel выходят на рынок 32-нм процессоры следующего поколения – Sandy Bridge, так же 22-нм модификацию Ivy Bridge и кристаллы на базе 22-нм архитектуры Haswell [15].

Сравнительный анализ процессоров AMD и Intel

Среди представленных на рынке процессоров AMD и Intel зарекомендовали себя лучше всего. У каждого производителя есть свои плюсы и минусы, и в этой статье будут проанализированы производительность и графика процессоров.

Для оценки мощности процессора могут использоваться:

– синтетические тесты;
– игры;
– профессиональные программы.

Синтетический тест создает искусственную нагрузку с идеальными условиями для сравнения. Это отличная возможность для столкновения различных платформ в «лабораторных условиях», но реальный сценарий использования приближен к этим тестам лишь в некоторых случаях.

Более наглядны тесты в играх и профессиональных приложениях. Это реальные задачи, для которых покупается компьютер.

В играх стоит оценить количество кадров в секунду и график времени кадра (рис. 2), а для рабочих задач важными показателями будут время рендеринга видео или отрисовки сцены при 3D-моделировании.

Также стоит не забывать, что в работе системы значительную роль играет видеокарта. Поэтому для более достоверных данных необходимо рассматривать тесты с одной и той же и видеокартой.

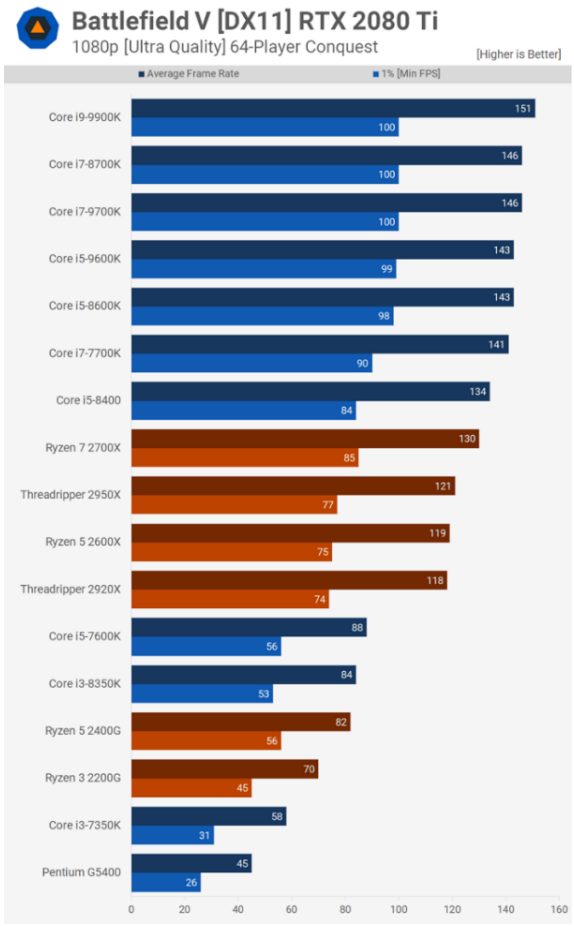


Рисунок 2 – Оценка количества кадров в секунду и график времени кадра различных процессоров для игры Battlefitld 5

Производительность процессора определяется двумя параметрами – количеством ядер / потоков и их тактовой частотой. Все остальные параметры – кэш-память, технический процесс, поддерживаемая частота оперативной памяти и т. д. можно списать на особенности архитектуры.

У производителей к этому вопросу разный подход. Intel делает ставку на изначально более высокую частоту в ущерб количеству ядер. А AMD наоборот – наращивает количество ядер, при этом теряя в тактовой частоте. В табл. 2 приведены сравнительные характеристики двух типичных процессоров указанных фирм, выпускавшихся одновременно.

Нельзя однозначно сказать кто из производителей выпускает более совершенный процессор. Все зависит от оптимизации конкретных приложений.

Если новые игры и программы лучше работают с многоядерными процессорами, полностью раскрывая их потенциал, то не всем старым проектам такой вариант подходит. Также можно столкнуться с ситуацией, когда половина ядер процессора будет простаивать, из-за чего не будет равномерной нагрузки на все потоки.

Таблица 2 – Характеристики процессоров

Технические характеристики	AMD Ryzen 7 2700X	Core i7 8700K
Число ядер/потоков	8/16	6/12
Архитектура	Zen+	Coffee Lake
Техпроцесс	12 nm	14 nm
Сокет	AM4	LGA 1151
Величина отвода тепловой мощности	105W	95W
Базовая частота	3.7 GHz	3.6 GHz
Максимальная частота	4.3 GHz	4.7 GHz
Объём кэш памяти 3 уровня	16 MB	9 MB
Тип памяти и максимальная частота	DDR4-2933	DDR4-2600

Из рассмотренного можно сделать вывод, что в играх более производительны процессоры от Intel, т. к. у них большая тактовая частота и достаточное количество ядер (рис. 3). В рабочих приложениях или при стриминге лидерство за процессорами AMD, так как многопоточные задачи даются им значительно легче.

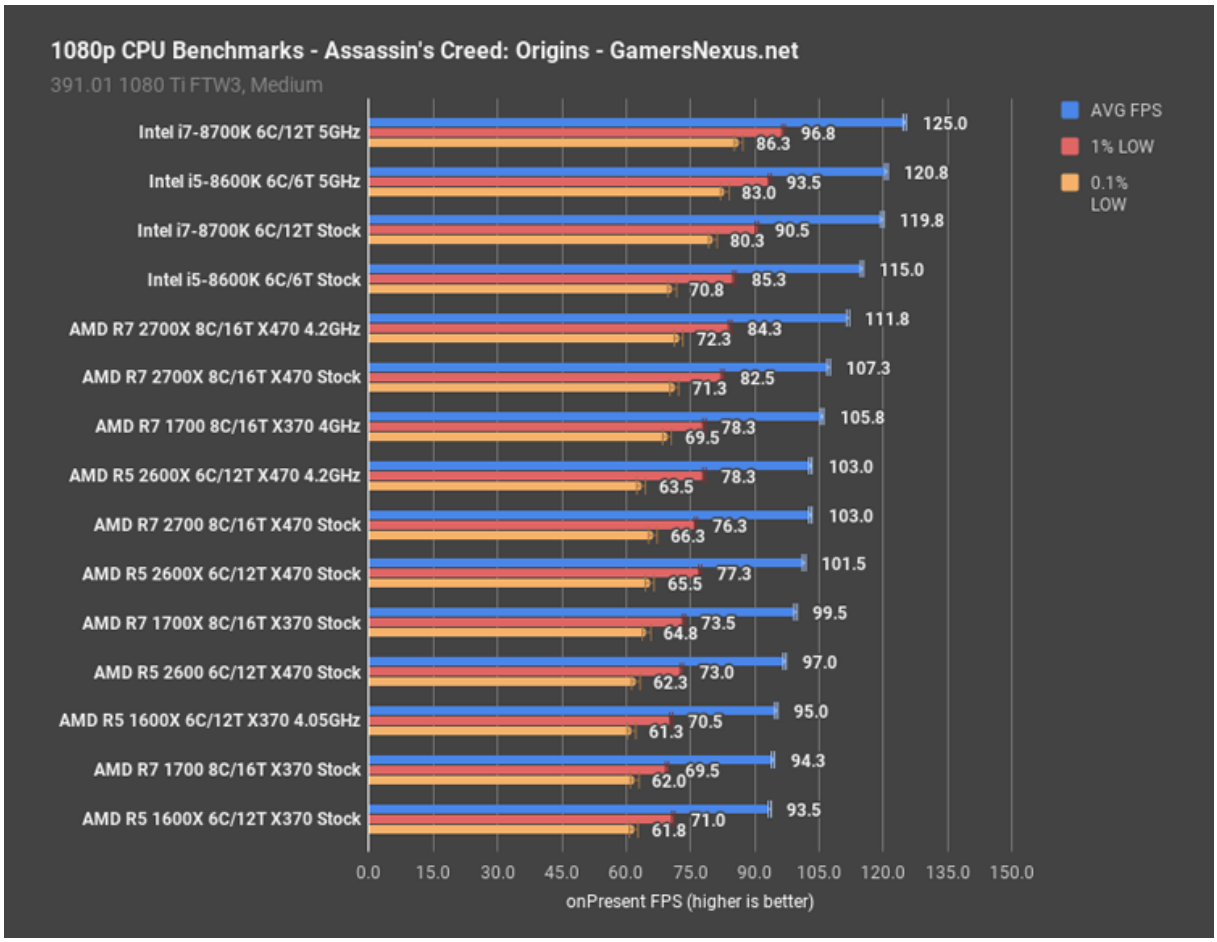


Рисунок 3 – Оценка количества кадров в секунду и график времени кадра различных процессоров для игры Assfssin's Creed

Анализ графики процессоров

Бывают случаи, когда в системе нужно обойтись без видеокарты или «пересидеть» на встроенной графике до покупки дискретной.

У процессоров Intel, за исключением HEDT моделей, интегрированное графическое ядро Intel UHD Graphics. Его производительность не так хороша, как у конкурентов, но для вывода 4K изображения, аппаратного декодирования видео, браузинга и нетребовательных задач ее вполне хватает.

В то же время AMD с процессорами с интегрированной графикой Vega 11, Vega 8, Vega 3, задали высокую планку для Intel.

Эти графические ядра помимо упомянутых выше задач позволят поиграть в нетребовательные игры с приемлемым количеством кадров в секунду, а старые проекты будут работать даже на высоких настройках графики.

Для анализа и сравнения количества кадров в секунду на встроенных графических ядрах будут взяты два процессора AMD Ryzen 32200G и Core i3-8100. Сравнительный анализ проводился на базе 5 игр, результат представлен на рис. 4.

Из особенностей архитектуры стоит выделить только один факт: у интегрированной графики нет собственной видеопамяти, поэтому для работы графического ядра будет резервироваться часть оперативной.

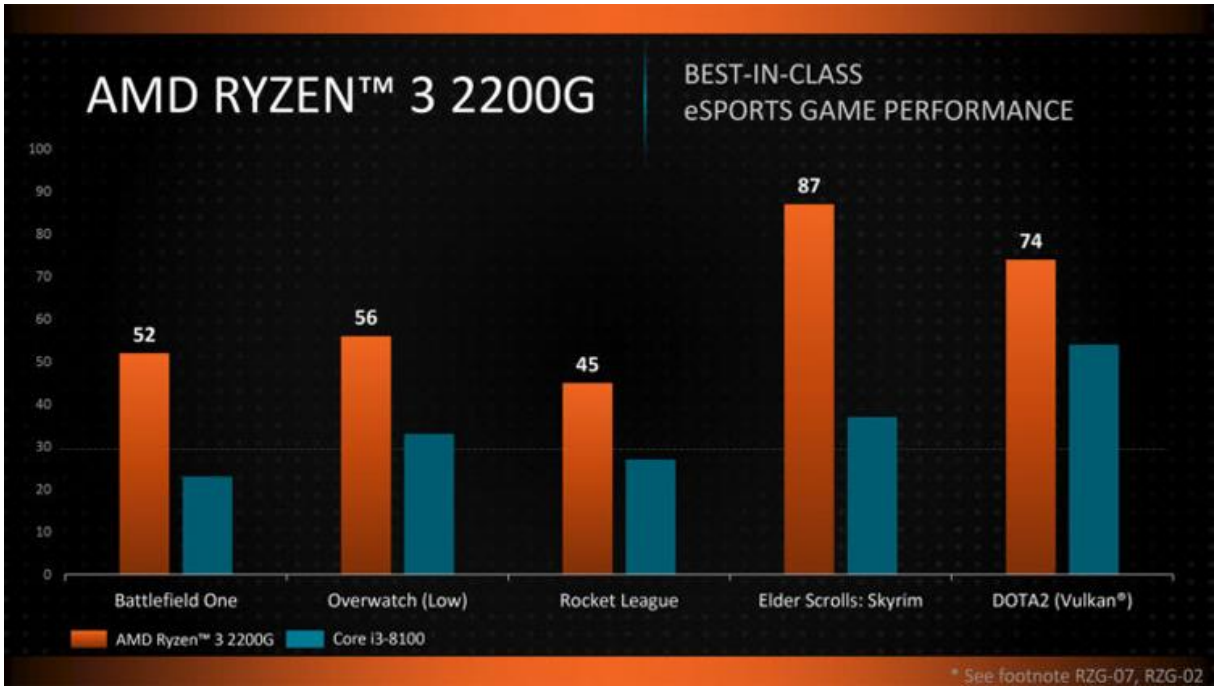


Рисунок 4 – Сравнительная характеристика графических ядер AMD и Intel

Производительность также сильно зависит от пропускной способности памяти. Из-за этого в системах с высокочастотной оперативной памятью графическое ядро покажет лучшие результаты [16].

Выводы

Интенсивное развитие компьютерных технологий с начала 90-х годов привело к качественному скачку в развитии человечества. Анализируя историю, можно проследить этапы развития процессоров, изменения в их архитектуре, усовершенствования технологий разработки и многое другое. При этом можно констатировать не только то, что современные процессоры значительно отличаются от тех, которые выходили раньше, но и уверенно выделить определенные закономерности их развития.

В ближайшие годы развитие хотя и может несколько замедлиться, но отнюдь не остановится. Поэтому знание определенных закономерностей позволяет уверенно прогнозировать ближайшие этапы их развития.

Литература

1. Орлов С. А., Цилькер Б. Я. Организация ЭВМ и систем: Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2018. – 688 с.

2. Алиев Т. И. Основы проектирования систем. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 120 с.

3. Коцюба И. Ю., Чунаев А. В., Шиков А. Н. Основы проектирования информационных систем. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 206 с.

4. Гергель В. П. Лекции по параллельным вычислениям: учеб. пособие / В. П. Гергель, В. А. Фурсов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. – 164 с.

5. Аноприенко А. Я. Закономерности развития компьютерных систем // Научная дискуссия: инновации в современном мире: сб. ст. по материалам XVIII междунар. заоч. науч.-практ. конф. / Междунар. центр науки и образования. – М., 2013. – № 10 (18). - С. 19-29.

6. Аноприенко А. Я. Основные закономерности эволюции компьютерных систем и сетей // Науч. тр. Донец. нац. техн. ун-та. (серия: Проблемы моделирования и автоматизации проектирования) – Донецк: ДонНТУ, 2013. – Вып. 1(12)-2(13). – С. 10-32.

7. Аноприенко А. Я. Закономерности развития компьютерных систем // Научная дискуссия: инновации в современном мире. Сборник статей по материалам XVIII межд. заоч. на-уч.-практ. конф. № 10 (18). – М.: Изд. «Международный центр науки и образования», 2013. – С. 19-29.

8. Аноприенко А. Я. Модели эволюции компьютерных систем и средств компьютерного моделирования Моделирование и компьютерная графика: материалы пятой междунар. науч. - техн. конф., 24-27 сент. 2013 года / Донец. нац. техн. ун - т. – Донецк, 2013. - С. 403-423.

9. Аноприенко А. Я. Обобщения закона Мура // «Информатика и кибернетика» (Вестник Донецкого национального технического университета), № 3 (9), 2017. С. 14-23.

10. Аноприенко А. Я. Будущее компьютерных технологий в контексте технической и кодо-логической эволюции. // Вестник Инженерной Академии Украины. Теоретический и научно-практический журнал Инженерной Академии Украины. Выпуск 3-4, 2011, с. 108-113.

11. Коленченко О. Эволюция процессоров. Часть 1: 8-битная эпоха [Электронный ресурс]. - URL: https://www.ferra.ru/review/computers/processor-evolution-part-1.htm (Дата обращения 22.09.2019).

12. Коленченко О. Эволюция процессоров. Часть 2: 16-битная эпоха [Электронный ресурс]. - URL: https://www.ferra.ru/review/computers/processor-evolution-part-2.htm (Дата обращения 22.09.2019).

13. Коленченко О. Эволюция процессоров. Часть 3: 32-битные процессоры во второй половине 1980-х годов [Электронный ресурс]. - URL: https://www.ferra.ru/review/computers/processor-evolution-part-3.htm (Дата обращения 22.09.2019).

14. Коленченко О. Эволюция процессоров. Часть 4: архитектура RISC и развитие индустрии в 1990-е годы [Электронный ресурс]. - URL: https://www.ferra.ru/review/computers/processor-evolution-part-4.htm (Дата обращения 22.09.2019).

15. Коленченко О. Эволюция процессоров. Часть 5: современность [Электронный ресурс]. - URL: https://www.ferra.ru/review/computers/processor-evolution-part-5.htm (Дата обращения 22.09.2019).

16. Коростелкин С. Сравнение процессоров Intel и AMD [Электронный ресурс]. - URL: https://hotline.ua/guides/sravnenie-protsessorov-intel-i-amd/ (Дата обращения 04.04.2020).

Максименко Н. С. Сравнительный анализ и закономерности развития процессоров AMD и Intel. *В статье проведен анализ закономерностей развития компьютерных систем и наиболее распространенных процессоров. В ходе анализа выявлено, что темпы развития процессоров соответствуют общей динамике экспоненциального развития компьютерных технологий. В данной области сохраняется устойчивый рост производительности компьютерных систем. Выявлены предпосылки к постоянному усложнению компьютерных систем и связей между ними. На основе выполненного анализа составлена хронология развития процессоров. Выполнена сравнительная характеристика процессоров двух производителей – AMD и Intel.*

Ключевые слова: *компьютерные системы, развитие компьютерных систем, развитие процессоров, AMD, Intel.*

Maksimenko N. Comparative analysis and patterns of development of AMD and Intel processors. *The article analyzes the patterns of development of computer systems and the most common processors. The analysis revealed that the pace of development of processors corresponds to the general dynamics of the exponential development of computer technology. In this area, a steady increase in the performance of computer systems is maintained. The prerequisites for the continuous complication of computer systems and the relationships between them are revealed. Based on the analysis, a chronology of the development of processors is compiled. A comparative description of the processors of two manufacturers – AMD and Intel.*

Keywords: *computer systems, development of computer systems, development of processors, AMD, Intel.*

Статья поступила в редакцию 15.04.2019
Рекомендована к публикации профессором Аноприенко А. Я.

Инженерное образование

УДК 004.93, 37.048

Педагогические условия формирования коммуникативной культуры у будущих специалистов на основе их эмоционального состояния

Т. В. Ванжа, А. С. Миненко, Е. И. Приходченко
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
vanzha_tv7@mail.ru

Аннотация
В работе выделены основные эмоции человека, проведен краткий обзор истории возникновения эмоций и эмоционального состояния студента, как объекта внимания педагога. Часто педагогу не хватает времени, чтобы охватить своим вниманием каждого учащегося. В работе для этого случая разработана система распознавания эмоций для определения эмоционального состояния обучаемого. Разработан алгоритм определения эмоционального состояния. Выделены основные этапы автоматического распознавания эмоций. Рассмотрены процесс обнаружения лица методом Виолы – Джонса и его описание. Дана характеристика эмоций по сочетанию точек брови и рта. Приведенный подход к автоматическому распознаванию эмоций может быть эффективно применен не только в определении эмоционального состояния будущего специалиста, но и в различных интеллектуальных человеко-машинных системах.

Введение

Одним из самых важных и естественных средств общения для человека является изменение выражения лица, которое служит для передачи эмоций и намерений. Автоматизация классификации эмоционального состояния лица – очень сложная, но интересная задача. Она встречается в таких областях, как, например, определение эмоционального состояния, человеко-машинное взаимодействие, анимация лица и другие.

В последние годы автоматический анализ эмоционального состояния и выражения лица привлек большое внимание исследователей благодаря широкому кругу приложений на рынке.

Следует отметить важность значимости развития способности к распознаванию эмоциональных состояний студентов для преподавателей. У них, как утверждает ученая М. И. Лисина, появляется потребность в сопереживании и взаимопонимании, это не всегда заметно с первого взгляда и требует дополнительного внимания преподавателя. Возникновение внеситуативно-личностной формы общения актуализирует задачу успешной социализации будущих специалистов в коллективе.

Первостепенным вопрос успешной социализации личности в коллективе сверстников становится для родителей, которые стремятся к воспитанию в ребенке коммуникативных качеств. Ведь не всегда хватает времени на понимание ребенка и его потребностей, эмоционального состояния.

Актуальной проблемой в этом случае есть правильное определение эмоционального состояния человека при помощи систем распознавания эмоций для правильного подхода к каждой личности отдельно, учитывая их темперамент и потребности.

Эмоции как средство общения с окружающим миром

Основная часть систем автоматического распознавания выражения лица, найденных в литературе, осуществляют классификации напрямую по основным эмоциям, которые представлены на рис. 1.

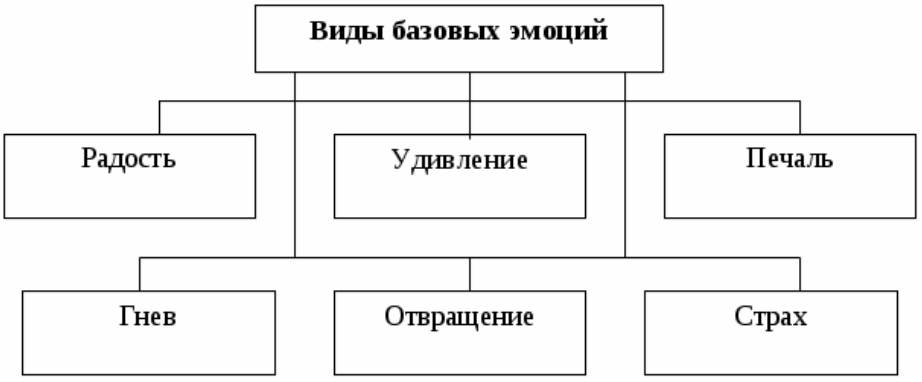


Рисунок 1 – Виды базовых эмоций

Особый вид психических процессов, выражающих переживание человеком его отношения к самому себе и окружающему миру – это эмоции. Согласно теории российского физиолога П. К. Анохина, способность ощущать и испытывать эмоции выработалась в ходе эволюции как способ более успешной адаптации к условиям существования живых существ.

Эмоции дали возможность живым существам очень быстро и экономно проявлять реакцию на внешние воздействия, оказались очень полезными для выживания [1, 2].

Также эмоции имеют большое значение в жизни человека и межличностных общениях. Они выражаются следующими способами: голосом, движениями, мимикой, позами, вегетативными реакциями (частотой дыхания, сердечных сокращений, артериальным давлением). Но все же лицо человека обладает наибольшей выразительностью.

Каждая личность по-своему выражает эмоции. Так, проводя исследования в области невербального поведения изолированных племен в Папуа-Новой Гвинее в 70-х годах прошлого века, американский психолог Пол Экман установил, что базовые эмоции, которые были рассмотрены на рис. 1, являются универсальными (могут быть поняты независимо от культуры человека).

Нужно отметить то, что понимание и восприятие партнера невозможно без невербальных проявлений. Наиболее информативным невербальным средством есть лицо человека. Анализируя его выражение, мы получаем большую часть информации об эмоциональном состоянии человека.

Вопросы развития способности «чтения» невербального поведения исследованы учеными Ю. А. Свеницкой, Ч. А. Измайловой, Н. А. Титовой, Е. С. Михайловой, А. М. Щетининой, О. В. Гордеевой [1-3].

Проанализировав научную литературу, можно сделать вывод, что успешного понимания эмоционального состояния человека ещё недостаточно изучены, а пути развития процесса распознавания эмоций по выражению лица недостаточно исследованы.

Было предположено, что интегративным образованием, которое включает в себя несколько компонентов (интеллектуальных действий), является способность к распознаванию эмоциональных состояний по экспрессии лица человека.

Эти действия, а именно: осознание своих эмоциональных состояний, поиск тождественных эмоций, дифференциация, категоризация, использование эталона эмоции в анализе ситуации, – являются компонентами способности к распознаванию эмоциональных состояний по выражению лица.

Эмоциональное состояние обучаемого как объект внимания педагога

Обращение дополнительного внимания к проблеме эмоционального состояния студента как к объекту внимания педагога заявлено социальной ситуацией перехода системы образования на гуманистические позиции и временем. Эта проблема показывает другие основания научного решения проблем воспитания личности в современных условиях. Современному педагогу освоение позиции «человек-человек» дается очень сложно. Причина тому – четкое разграничение функционально-ролевых отношений «педагог-студент», при которой взаимоотношения с позиции «человек-человек» практически полностью исключаются [3].

Так как оценочная реакция на ситуацию есть традиционным методом педагога, поведение и состояние студента оценивается в следующем: «хорошо / плохо», «можно / нельзя», «правильно / неправильно». Но в современных условиях этого подхода уже совсем недостаточно.

Педагог в первую очередь при взаимодействии со студентом акцентирует внимание на его внутреннюю систему отчетности, которая включает: проблемы и трудности, критерии оценок, ценности. А ведь именно задача поддержки личности и помощи её развития есть основной в работе педагога. Вместе с тем нужно учитывать и то, что для молодого педагога изменение его профессионального мышления происходит постепенно, целенаправленно. В этом случае нужно время, чтобы достичь поставленных целей и получить от педагога какой-то результат. Именно в этой ситуации для правильного определения эмоционального состояния обучаемого нужны дополнительные разработки в области распознавания эмоций, чтобы правильно подойти к каждой личности в отдельности, учитывая её потребности. С этим подходом преподаватель в самые короткие сроки сумеет облегчить ситуативное неблагоприятное состояние студента и в то же время стимулировать то положительное, что в нём уже заложено. Потребность в саморазвитии и самосовершенствовании, осознание уникальности и неповторимости себя как личности и есть назначением процесса воспитания.

Педагог должен создавать все условия для максимального развития внутренних сил студента, который в свою очередь более конструктивно подходит к проблеме необходимости изменения своего отношения и поведения, принимает и обсуждает предложенные варианты самосовершенствования.

Определение эмоционального состояния учащегося

В зависимости от ситуативного контекста и индивидуальных особенностей личности

выражение эмоций довольно разнообразное. Большое значение в понятии эмоций имеет культурный контекст. Эти эмоции не относятся к базовым, так как способы их выражения приняты в определенной общности различны для сложных эмоциональных проявлений. Эти проявления очень сложны для распознавания. Они скрывают целый комплекс чувств, которые испытывает человек [4].

Одним из самых важных направлений развития искусственного интеллекта с помощью компьютерных средств является автоматическое распознавание образов, которое позволило немного ближе подойти к пониманию особенностей работы человеческого интеллекта.

В работе разработан алгоритм распознавания эмоций для оценки эмоционального состояния человека, представленный на рис. 2.

Рисунок 2 – Алгоритм распознавания эмоций

Возможность некоторой фальсификации эмоционального состояния – это один из факторов, который влияет на эффективность распознавания эмоций. К факторам, которые оказывают влияние на выражение человеком своих чувств и эмоций относятся:

– культурные требования;
– любые соображения, которые вытекают из определенной ситуации;
– личные представления о допустимом;
– и другие.

На вход в систему поступает обрабатываемое изображение. Поиск лица производится стандартными средствами OpenCV, детектирование происходит методом Виолы – Джонса, описание которого представлено дальше в работе. На выходе получаем изображение лица без поворота, нормализованные ключевые точки, дистанции.

Распознавание эмоций по выражению лица

Идентификация эмоционального состояния по выражению лица – достаточно сложный психический процесс. Для человека распознавание эмоций другого человека – это навык, который приобретается естественным путем. В свою очередь эта задача для системы очень непростая, в то время как для человека не составит никакого труда узнать другого человека по лицу или походке. Т. к. даже человек не всегда правильно распознает эмоциональное состояние, для системы автоматической идентификации эта задача есть ещё сложнее.

Основной алгоритм автоматической идентификации эмоций содержит следующие этапы [5-7]:

– регистрация изображения;
– первичная обработка изображения;
– выделение лица на изображении;
– выделение элементов лица;
– выделение ключевых точек на лице;
– классификация эмоций.

Удаление шумов, цветовые и геометрические преобразования – это этапы предварительной (первичной) обработки изображения.

Известны следующие источники шума:

– помехи в каналах передачи информации;
– недостаточное освещение сцены;
– регистрация изображений с конструктивными недостатками;
– положение объектов интереса;
– и другие.

Используются фильтры, которые основаны на порядковых статистиках (фильтр минимума, максимума, медианный) и усредненные фильтры (фильтры, которые основаны на вычислении среднего

гармонического, среднего контргармонического, среднего геометрического и среднего арифметического). В работе для выделения лица на изображении используется метод Виолы – Джонса. Этот метод обеспечивает высокую точность и достаточно хорошую скорость для нахождения заданных объектов на изображении, поэтому является наиболее эффективным в этом случае. Метод предложили в 2001 году Пол Виола и Майкл Джонс. Метод по сегодняшнее время есть основным для задачи поиска объектов на изображениях [8].

Метод Виолы – Джонса использует принцип сканирующего окна, который состоит из следующих этапов:

– поступление исходного изображения размерностью $N \times M$ пикселей на вход, при этом все пиксели имеют значение от 0 до 255 для каждого цветового канала (канал одного цвета для монохромного и трех цветов для цветного изображения);

– обработка (применение различных фильтров, удаление шумов, масштабирование и др.) и сканирование исходного изображения при помощи скользящего окна;

– проход скользящего окна по каждому пикселю изображения;

– применение классификатора на основе метода бустинга (усиления слабых классификаторов) [9].

Процесс обнаружения лица методом Виолы – Джонса имеет следующие особенности:

– чтобы быстрого выполнить нужные расчеты, изображения применяют в интегральном виде;

– чтобы найти необходимые объекты на изображениях, проводится анализ признаков Хаара;

– применение метода усиления слабых классификаторов на определенной части изображения для выбора наиболее подходящих признаков при поиске искомого объекта;

– применение простых бинарных классификаторов для принятия решения «Истина» или «Ложь»;

– применение каскадов признаков для быстрого отбрасывания окон, где лицо не найдено.

В этом методе изображения обрабатываются в интегральной форме, что позволяет выполнить быстрое вычисление суммарной яркости произвольного прямоугольника с постоянным временем, независимо от размеров этого прямоугольника. Представление изображения происходит в матричном виде. Данная матрица должна точно совпадать по размерам с исходным изображением. В каждом элементе матрицы хранится сумма интенсивностей всех пикселей, которые находятся левее и выше данного элемента. Каждый элемент матрицы рассчитывается по формуле:

$$II(x, y) = \sum_{0 \le i \le x, 0 \le j \le y} I(i, j), \quad (1)$$

где $I(i, j)$ – яркость пикселя исходного изображения.

В прямоугольнике от (0, 0) до (x, y) каждый элемент матрицы $II(x, y)$ – это сумма пикселей.

Также особенностью метода Виолы – Джонса есть использование вейвлетов Хаара (прямоугольных волн одинаковой длины).

Для обнаружения объекта на изображении используют прямоугольные комбинации, которые не есть подлинными вейвлетами Хаара, так как они лучше подходят для задач распознавания. Из-за этого эти функции получили название функции или примитивы Хаара. Для поиска наличия этой функции вычитают среднее значение области темных пикселей из среднего значения области светлых пикселей. Функция существует, если разница превосходит порог, что определяется в процессе обучения.

Следующий шаг после выделения лица – выделение его элементов (глаз, бровей и рта). В этом случае также используется метод Виолы – Джонса. Подается изображение лица, которое было выделено на предыдущем этапе. На лице задаются определенные зоны (верхняя зона для бровей и глаз, нижняя для рта). Это помогает ускорить распознавание и уменьшить ложные обнаружения элементов [10].

После выделения элементов идет нахождение их ключевых точек. Анализ всего нескольких ключевых точек может идентифицировать определенные эмоции. Так, на рис. 3 показаны комбинации точек бровей и рта.

Ключевые точки выделяются следующим образом:

– преобразование цветного изображения к полутоновому виду;

– преобразование из полутоновой формы к бинарному виду;

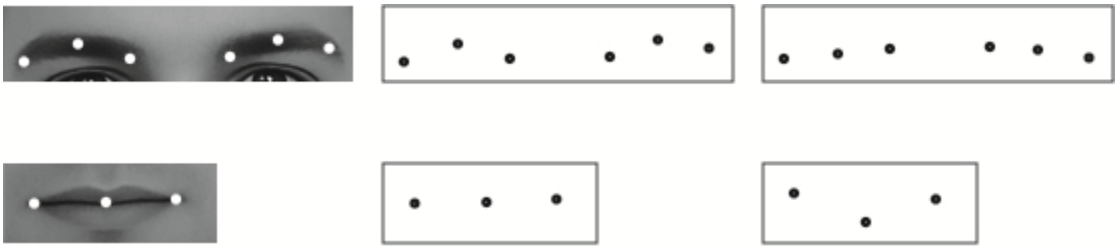
– применение к бинарному изображению градиентной маски;

– локализация ключевых точек.

На этапе выделения лица идет переход от цветного к полутонному изображению [9, 11, 12].

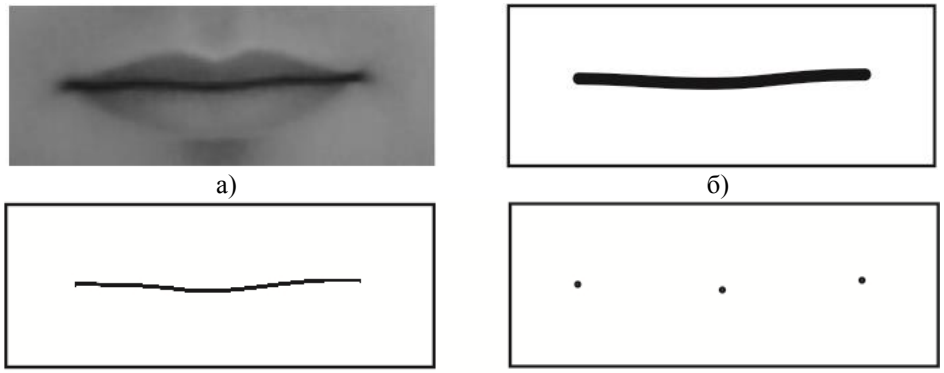
Чтобы получить бинарное изображение, используется адаптивный порог. При помощи градиентной маски к этому изображению получаем контурное представление элемента, к которому применяется анализ. Локализация – это определение заданного количества точек, которые лежат на контуре элемента.

На рис. 4 представлен процесс выделения ключевых точек.



а) б) в)

Рисунок 3 – Ключевые точки элементов лица: а) изображения бровей и рта; б) комбинация ключевых точек, соответствующая изображениям бровей и рта; в) комбинация ключевых точек, соответствующая другим положениям бровей и рта



а) б)

в) г)

Рисунок 4 – Выделение ключевых точек: а) полутоновое изображение, б) бинарное изображение, в) применение градиентной маски, г) локализация ключевых точек

Следующим этапом после выделения ключевых точек есть классификация эмоций. Так, в табл. 1 вынесены полученные характеристики базовых эмоций по сочетанию брови и рта.

Таблица 1 – Характеристики эмоций по сочетанию брови и рта

Эмоция	Бровь	Рот
Счастье	Поднимается	Концы поднимаются
Удивление	Поднимается	Открывается
Грусть	Концы снижаются	Концы снижаются
Гнев	Снижается и сморщится	Открывается или концы снижаются
Страх	Поднимается и сморщится	Открывается и растягивается

Полученные результаты показывают как по сочетанию ключевых точек брови и рта можно определить базовые эмоции. Данный подход может быть эффективно применен не только в определении эмоционального состояния, но и в различных интеллектуальных человеко-машинных системах.

Выводы

Очень сложным является процесс воспитания, который основан на распознании эмоционального состояния обучаемого как объекта внимания педагога. Этот процесс требует от преподавателя огромных затрат сил, большой душевной отдачи и высокого уровня профессионализма (знания психологии, философии и педагогики), поддержки, организуя совместную деятельность со студентами.

Очень часто педагогу не хватает времени, чтобы охватить своим вниманием каждого студента. В этом случае на помощь педагогу можно разработать систему распознавания эмоций для определения эмоционального состояния будущего специалиста.

В работе выделены основные эмоции человека, проведен краткий обзор истории возникновения эмоций и эмоционального состояния обучаемого, как объекта внимания педагога. Разработан алгоритм определения эмоционального состояния студента. Выделены основные этапы автоматического распознавания эмоций. Рассмотрены процесс обнаружения лица методом Виолы – Джонса и его описание. Дана характеристика эмоций по сочетанию точек брови и рта.

В заключении можно отметить, что приведенный подход к автоматическому распознаванию эмоций может быть эффективно применен не только в определении эмоционального состояния будущего специалиста, но и в различных интеллектуальных человеко-машинных системах.

Литература

1. Ильин Е. П. Психология индивидуальных различий. – СПб: Питер, 2004. – 701 с.
2. Небылицын В. Д. Темперамент. Психология индивидуальных различий: Под ред. Ю. Б. Гиппенрейтер, В. Я. Романова. – М.: ЧеРо, 2000. – 776 с.
3. Ильин Е. П. Эмоции и чувства. – СПб: Питер, 2001. – 752 с.
4. Леонтьев В. О. Классификация эмоций. – Одесса: Инновационно-ипотечный центр, 2002. – 84 с.
5. Кривонос Ю. Г., Крак Ю. В., Ефимов Г. М. Моделирование и анализ мимических проявлений эмоций. // Доповіді НАНУ, 2008. – № 12. – С. 51-55.
6. Санников К. А. Разработка алгоритмов распознавания эмоционального состояния человека по изображению его лица: дис. … студент 09.04.01. Санников К. А. – Томск, 2017. – 98 с.
7. Заболеева-Зотова А. В., Орлова Ю. А., Бобков А. С. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения. // Открытое образование. – Волгоград, – 2011. – Т.2 – С. 59-62.
8. Розалиев В. Л., Бобков А. С., Федоров О. С. Система распознавания эмоционального состояния человека на основе анализа видео ряда // Нечёткие системы и мягкие вычисления (НСМВ-2009). Сб. ст. 3-й всерос. науч. конф., 21-24 сент. 2009. – Волгоград, 2009. –Т. 2 – С. 245-253.
9. Розалиев В. Л., Заболеева-Зотова А. В. Моделирование эмоционального состояния пользователя // Инф. технол. в науке, образ., телеком. и бизнесе (IT+SE'07): прилож. к журн. по матер. XXXIV междунар. конф., 20-30 мая 2007. – Ялта-Гурзуф: [Б / н], 2007. – С. 172-173.
10. Визильтер, Ю. В., Желтов С. Ю., Бондаренко А. В., Ососков М. В., Моржин А. В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения // Курс лекций и практических занятий. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
11. Кирпичников А. П., Ляшева С. А., Шлеймович М. П. Контекстный поиск изображений. // Вестник Казанского технологического университета. – Казань: КНИТУ, 2014. – №18. – Т. 17 – С. 244-251.
12. Заболеева-Зотова А. В. Задача создания системы автоматизированного распознавания эмоций. / А. В. Заболеева-Зотова // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: материалы Междунар. науч.-техн. конф. OSTIS-2012 (Минск, 16–18 февраля 2012). – Минск: БГУИР, 2012. – С. 347-350.

Ванжа Т. В., Миненко А. С., Приходченко Е. И. Педагогические условия формирования коммуникативной культуры у будущих специалистов на основе их эмоционального состояния. *В работе выделены основные эмоции человека, проведен краткий обзор истории возникновения эмоций и эмоционального состояния студента, как объекта внимания педагога. Часто педагогу не хватает времени, чтобы охватить своим вниманием каждого учащегося. В работе для этого случая разработана система распознавания эмоций для определения эмоционального состояния обучаемого. Разработан алгоритм определения эмоционального состояния. Выделены основные этапы автоматического распознавания эмоций. Рассмотрены процесс обнаружения лица методом Виолы – Джонса и его описание. Дана характеристика эмоций по сочетанию точек брови и рта. Приведенный подход к автоматическому распознаванию эмоций может быть эффективно применен не только в определении эмоционального состояния будущего специалиста, но и в различных интеллектуальных человеко-машинных системах.*

Ключевые слова: *эмоциональное состояние, невербальное проявление, ключевые точки, распознавание эмоций.*

Vanzha T., Minenko A., Prikhodchenko E. Pedagogical conditions for the formation of a communicative culture in future specialists based on their emotional state. *The main human emotions are highlighted in the work, a brief review of the history of the emergence of emotions and the emotional state of the student, as an object of attention of the teacher. Often the teacher does not have enough time to cover each student with his attention. In this work, an emotion recognition system was developed for determining the emotional state of a student. An algorithm for determining the emotional state is developed. The main stages of automatic recognition of emotions are highlighted. The process of detecting a face by the Viola – Jones method and its description are considered. The characteristic of emotions is given by the combination of eyebrow and mouth points. The above approach to the automatic recognition of emotions can be effectively applied not only in determining the emotional state of a future specialist, but also in various intelligent man-machine systems.*

Keywords: *emotional state, non-verbal manifestation, key points, recognition of emotions.*

Статья поступила в редакцию 19.03.2020
Рекомендована к публикации профессором Мальчевой Р. В.

Об авторах

Авксентьева Ольга Александровна (1951 г. р.) – старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Аноприенко Александр Яковлевич (1957 г. р.) – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры и заведующий кафедрой компьютерной инженерии факультета компьютерных наук и технологий, ректор Донецкого национального технического университета

Бельков Дмитрий Валерьевич (1965 г. р.) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Бойко Виктория Николаевна (1970 г. р.) – старший преподаватель кафедры английского языка факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Ванжа Татьяна Викторовна (1994 г. р.) – аспирант кафедры искусственного интеллекта и системного анализа факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», по научной специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)»

Добровольский Юрий Николаевич (1953 г. р.) – старший преподаватель кафедры прикладной математики факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Едемская Евгения Николаевна (1960 г. р.) – старший преподаватель кафедры искусственного интеллекта и системного анализа факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Ефименко Константин Николаевич (1971 г. р.) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Завадская Татьяна Владимировна (1981 г. р.) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерной инженерии факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета, ученый секретарь Совета по защите докторских диссертаций Д 01.024.04

Золотарев Евгений Владимирович (1976 г. р.) – заведующий лабораторией исследований и автоматизированных испытаний трансформаторов и КТП комплексного научно-исследовательского отдела трансформаторов и трансформаторных подстанций научно-исследовательского проектно-конструкторского технологического института взрывозащищенного и рудничного электрооборудования, аспирант кафедры горной электротехники и автоматики им. Р. М. Лейбова факультета компьютерных информационных технологий и автоматики Донецкого национального технического университета направлению подготовки 13.06.01 «Электро- и теплотехника», по научной специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»

Зори Сергей Анатольевич (1968 г. р.) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры программной инженерии факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета, член Совета по защите докторских диссертаций Д 01.024.04

Ковалёва Инна Владимировна (1985 г. р.) – кандидат технических наук, доцент кафедры горной электротехники и автоматики им. Р. М. Лейбова факультета компьютерных информационных технологий и автоматики Донецкого национального технического университета

Койбаш Александр Андреевич (1995 г. р.) – ассистент кафедры компьютерной инженерии факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета, аспирант по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», по научной специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление

и обработка информации (по отраслям)»

Крахмаль Мария Вячеславовна (1996 г. р.) – студент-магистрант группы ПОм-18 кафедры компьютерной инженерии факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Лазебная Людмила Александровна (1967 г. р.) – старший преподаватель кафедры прикладной математики факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Максименко Наталья Сергеевна (1984 г. р.) – ассистент кафедры компьютерной инженерии факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета, аспирант по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника», по научной специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)»

Мальчева Раиса Викторовна (1958 г. р.) – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры компьютерной инженерии, заместитель по науке декана факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Миненко Александр Степанович (1949 г. р.) – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры и заведующий кафедрой искусственного интеллекта и системного анализа факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета, член Совета по защите докторских диссертаций Д 01.024.04

Приходченко Екатерина Ильинична (1950 г. р.) – доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры социологии и политологии социально-гуманитарного института Донецкого национального технического университета, заслуженный учитель Украины, академик Международной академии наук педагогического образования

Усова Анастасия Сергеевна (1997 г. р.) – студент-магистрант группы АСУм-19 кафедры автоматизированных систем управления факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Хмелевой Сергей Владимирович (1979 г. р.) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем управления факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Чернов Игорь Яковлевич (1949 г. р.) – кандидат технических наук, заведующий комплексным научно-исследовательским отделом трансформаторов и трансформаторных подстанций научно-исследовательского проектно-конструкторского технологического института взрывозащищенного и рудничного электрооборудования

**Требования к статьям,
направляемым в редакцию научного журнала
«Информатика и кибернетика»**

Редколлегией принимаются к рассмотрению статьи, в которых рассматриваются важные вопросы в области информатики и кибернетики. Научный журнал издаётся с 2015 года, периодичность издания – 4 раза в год.

В журнале предусмотрены следующие рубрики:

- информатика и вычислительная техника;
- компьютерные и информационные науки;
- инженерное образование.

В соответствии с номенклатурой специальностей научных работников МОН ДНР первые две рубрики соответствуют следующим укрупненным группам специальностей научных работников:

05.01 – «Инженерная геометрия и компьютерная графика»,

05.13 – «Информатика, вычислительная техника и управление».

С 01.02.2019 Научный журнал включён в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (приказ МОН ДНР № 135) по группам специальностей 05.01.00 и 05.13.00.

Рубрика «Инженерное образование» предназначена опубликования сотрудниками научно-методических статей.

Журнал также включён в базу данных РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) (лицензионный договор № 425-07/2016 от 14.07.2016).

Статьи, представляемые в данный сборник, должны отвечать следующим требованиям. ***Содержание статьи*** должно быть посвящено актуальным научным проблемам и включать следующие необходимые элементы:

- постановку проблемы в общем виде, её связь с важными научными и практическими задачами;
- анализ последних исследований и публикаций, в которых решается данная задача и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья;
- формулировка цели статьи и постановка задач, решаемых в ней;
- изложение основного материала с полным обоснованием полученных научных результатов;
- выводы и перспективы последующих исследований в данном направлении.

Каждый элемент должен быть выделен соответствующим названием раздела, например, «введение», «постановка задачи», «цель и задачи работы», «цель статьи», «цель исследования», «цель разработки», «анализ … », «сравнительная оценка … », «разработка … », «проектирование … », «программная реализация», «тестирование … », «полученные результаты», «выводы», «литература». Разделы «введение», «выводы», «литература» являются обязательными. Включать в названия разделов нумерацию не разрешается.

В основном тексте статьи формулируются и обосновываются полученные авторами утверждения и результаты. Выводы должны полностью соответствовать содержанию основного текста. Языки публикаций: русский, английский.

Объём статьи, формат страницы

Для оформления статьи следует использовать листы формата А4 (210х297 мм) с полями по 2,5 см со всех сторон. Нумерацию страниц выполнять не нужно.

Рекомендуемый объём статьи – 6-12 страниц. Рукописи меньшего объёма могут быть рекомендованы к публикации в качестве коротких сообщений.

Последняя страница текста статьи должна быть заполнена не менее чем на две трети, но содержать не менее трёх пустых строк в конце.

Форматирование текста

Подготовка статьи осуществляется в текстовом редакторе Microsoft Office Word.

Весь текст статьи оформляется шрифтом Times New Roman 10 пт с одинарным междустрочным интервалом, если ниже в требованиях не сказано иного. Абзацный интервал «перед» – 0 пт, «после» – 0 пт.

На первой строке с выравниванием по левому краю располагается УДК.

Заголовок (название) статьи оформляется шрифтом Times New Roman 14 пт, полужирное начертание, с выравниванием по центру (без абзацных отступов). Заголовок статьи следует печатать с прописной буквы без точки в конце, переносы слов не допускаются. Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт.

После названия статьи следует информация об авторах, которая выравнивается по центру (без абзацных отступов). На одной строке указываются инициалы и фамилии всех авторов через запятую. Между двумя инициалами ставится пробел. С новой строки указывается название вуза (организации) и город (для каждого автора, если не совпадают). На следующей строке указываются адреса электронной почты (один адрес либо каждого автора – по желанию). Адрес электронной почты оформляется в виде гиперссылки.

К тексту аннотации применяется курсивное начертание, с выравниванием по ширине, отступы слева и справа по 1 см. Заголовок «Аннотация» выделяется полужирным начертанием. Объём аннотации – 450-550 символов (без пробелов). Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт.

Основной текст статьи разбивается на две колонки шириной по 7,5 см (промежуток между столбцами – 0,99 см), выравнивается по ширине. Абзацный отступ первой строки – 1 см. Автоматический перенос слов не применяется.

Заголовки разделов выполняются шрифтом Arial 10 пт, полужирное курсивное начертание. Абзацный отступ отсутствует, интервал перед абзацем – 12 пт, после абзаца – 6 пт. Для заголовка «Введение» установить интервал «перед» – 0 пт, «после» – 6 пт.

Таблицы в тексте статьи

Название следует помещать над таблицей с абзацного отступа (1 см) в формате: слово «Таблица», пробел, номер таблицы, пробел, тире, пробел, название таблицы. Название таблицы записывают с прописной буквы без точки в конце строки и выравнивают по ширине. В ячейках таблицы устанавливается выравнивание текста по центру по вертикали. По горизонтали текст выравнивается по центру либо по левому краю. Границы ячеек таблицы должны быть только чёрного цвета, толщина линии – 1 пт. На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте статьи, при ссылке следует писать слово «табл.» с указанием её номера, например, « … данные приведены в табл. 5». Таблицы нумеруются в пределах статьи. Таблица располагается сразу после ссылки на неё, если это возможно (например, после окончания абзаца). Если же таблица не помещается на текущей странице, то она должна быть расположена в начале следующей страницы (или колонки). При необходимости допускается включение в статью таблицы, ширина которой превышает ширину колонки. В этом случае таблица и её название размещаются по центру страницы. Таблица не должна выступать за границы полей страницы. Таблица и её название отделяются от основного текста статьи одной пустой строкой до и после.

Рисунки в статье

Ссылки на иллюстрации по тексту статьи обязательны и оформляются в виде « ... на рис. 2» и т. п. Рисунок и его подпись выравниваются по центру колонки (без абзацных отступов), положение рисунка – «в тексте». Размещается рисунок после его первого упоминания в тексте, если это возможно (например, после окончания абзаца). Если же иллюстрация не помещается на текущей странице, то она должна быть расположена в начале следующей страницы (или колонки). При необходимости допускается включение в статью рисунка, ширина которого превышает ширину колонки. В этом случае рисунок и его подпись выравниваются по центру страницы. Иллюстрация не должна выступать за границы полей страницы. Подпись рисунка оформляется в формате: слово «Рисунок», пробел, номер иллюстрации, пробел, тире, пробел, название рисунка. Название рисунка записывают с прописной буквы без точки в конце строки. Для подписи иллюстрации применяют курсивное

начертание. Иллюстрация и её подпись отделяются от основного текста статьи одной пустой строкой до и после. Не допускается выполнять рисунки с помощью встроенного графического редактора Microsoft Office Word. Если на иллюстрации имеется текст, размер шрифта должен быть не менее чем аналогичный текст, набранный шрифтом Times New Roman 10-го размера. Иллюстрация не должна содержать много незаполненного пространства.

Формулы

Формулы и уравнения рекомендуется набирать с использованием MathType (предпочтительно) или MS Equation. Формулы и математические символы не должны существенно отличаться по размеру от основного текста. Обязательной является нумерация формул, на которые имеется ссылка в тексте статьи. Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, « ... согласно формуле (2)». Формулы размещаются по центру колонки, а их номера – по правому краю. Как для строки с формулой, так и для первой строки пояснений (при наличии), абзацный отступ убирается. Первая строка пояснения начинается со слова «где», после которого следует поставить табуляцию на 1 см, затем само пояснение в формате: символ, подлежащий объяснению, пробел, тире, пробел, поясняющий текст, запятая, обозначение единицы измерения физической величины. Пояснения перечисляются через точку с запятой, выравниваются по ширине. Вторая и последующие строки пояснений начинаются с абзацного отступа (1 см). Весь блок текста, связанный с формулой (только формула, несколько формул подряд или формула с пояснениями), отделяется от основного текста одной пустой строкой до и после. Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак «×». Формулы и математические уравнений могут быть записаны в тексте документа, если их высота не превышает высоту строки. При этом следует учитывать, что знаки математических операций отделяются от чисел или символов пробелами с обеих сторон. Например, «Если учесть, что $y < 0$ и $2x + y = 1$, то из формулы (3) можно выразить x…». К символам, которые приведены в формуле, при дальнейшем их употреблении (в том числе в пояснениях к формуле) должно применяться курсивное начертание. При этом к любым числам (верхние и нижние индексы, содержащие цифры и т. п.), а также к математическим знакам курсивное начертание не применяется. Не допускается вставлять формулы, выполненные в виде рисунков.

Перечисления: оформление списков

Основной текст статьи может содержать перечисления, оформленные в виде маркированного списка. В качестве маркера элемента списка разрешается использовать только короткое тире «–». Каждый элемент перечисления записывается с новой строки с абзацного отступа, равного 1 см. После символа короткого тире текст располагается с отступом в 1,5 см от левой границы строки, выравнивается по ширине, при переносе на новые строки располагается без отступов. Нумерованные и многоуровневые списки включать в статью не разрешается.

Литература

В тексте статьи обязательны ссылки на все литературные источники, номер источника указывается в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Рекомендуемое количество источников, на которые ссылается автор, не менее 10. Перечень источников приводится в порядке их упоминания в статье. Библиографическое описание каждого литературного источника оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100–2018. Перечень литературных источников оформляется в виде нумерованного списка. В качестве маркеров элементов списка используют порядковые арабские цифры с точкой. Каждый источник представляет собой отдельный элемент перечисления, записывается с новой строки с абзацного отступа, равного 1 см. После порядкового номера с точкой текст располагается с отступом в 1,5 см от левой границы строки, выравнивается по ширине, при переносе на новые строки располагается без отступов.

В конце статьи обязательно приводятся аннотации на русском и английском языках, каждая заканчивается перечнем 5-6 ключевых слов.

К тексту аннотации применяется курсивное начертание, с выравниванием по ширине, отступы слева и справа по 1 см. Слово «Аннотация» опускается. Текст аннотации начинается с ФИО авторов и названия статьи, выделяемых полужирным начертанием. Аннотация на русском языке совпадает с аннотацией, приведенной в начале статьи. В тексте аннотации на английском языке после фамилии автора указывается только первая буква имени с точкой. Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт. Ключевые слова оформляются с новой строки аналогично тексту аннотации. Заголовок «Ключевые слова:» (англ. «Keywords:») выделяется полужирным начертанием. Ключевые слова перечисляются через запятую.

Порядок представления статьи и сопроводительные документы

В редакцию необходимо представить:

– файл с текстом статьи;

– файл, содержащий фамилию, имя и отчество авторов полностью; ученую степень, ученое звание; место работы с полным указанием должности, подразделения и наименования организации, города (страны); номера телефонов и e-mail для связи;

– экспертное заключение о возможности публикации статьи, подписанное руководителем и заверенное печатью организации, в которой работает автор статьи;

– выписка из заседания кафедры или письмо организации с просьбой об опубликовании и указанием, что изложенные в статье результаты ранее не публиковались.

Статьи и сопроводительные документы следует высылать на электронный адрес infcyb.donntu@yandex.ru.

К сведению авторов

Если статья оформлена с нарушением указанных выше требований и правил, редакция после предварительного рассмотрения может отклонить статью.

На рецензирование статьи направляются членам редакционной коллегии журнала. Все статьи публикуются при наличии положительной рецензии.

В статью могут быть внесены изменения редакционного характера без согласования с автором. Ответственность за содержание статьи и качество перевода аннотаций несут авторы.

Публикация статей в научном журнале «Информатика и кибернетика» осуществляется на некоммерческой основе.

Все номера Научного журнала размещаются на сайте http://infcyb.donntu.org/.

.

CONTENT

Informatics and computer engineering

Analysis of devices efficiency of sensory component of the education system of the smart city
Anoprienko A., Koibash A., Prikhodchenko E. 5

Architecture of a specialized graphics processor for SIMD clipping
Avksentieva O., Zori S., Malcheva R. 12

The study of steganography methods during embedding hidden information in the frequency region of an image
Zavadskaya T., Krakhmal M. 18

Computerised system optimization of electricity consumption of residential buildings
Usova A., Hmelevoy S. 27

Multifractal detrended fluctuation analysis in Octave for ECG data
Belkov D., Edemskaya E., Lazebnaya L., Boyko V. 36

Application of theory of algorithms in human professional activity
Dobrovolsky Yu., Efimenko K. 44

Automatic overvoltage limiting system as a control structure for switching processes in a power transformer of a mine transformer substation
Chernov I., Zolotarev Y., Kovalyova I. 52

Comparative analysis and patterns of development of AMD and Intel processors
Maksimenko N. 63

Engineering education

Pedagogical conditions for the formation of a communicative culture in future specialists based on their emotional state
Vanzha T., Minenko A., Prikhodchenko E. 71

About Authors 77

Requirements to articles which are sent to the editors office of the scientific journal "Informatics and Cybernetics" 79

Электронное периодическое издание

Научный журнал

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

(на русском, английском языках)

№ 1 (19) - 2020

Ответственный за выпуск Р. В. Мальчева

Технический редактор Р. В. Мальчева

Компьютерная верстка А. И. Воронова

Подписано к выпуску 16.03.2020. Усл. печ. лист. 9,7. Уч.-изд. лист. 6.
Адрес редакции: ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГОУ ВПО «ДонНТУ»,
4-й учебный корпус, к. 36., ул. Кобозева, 17.
Тел.: +38 (062) 301-07-35, +38 (071) 334-89-11
E-mail: infcyb.donntu@yandex.ru, URL: http://infcyb.donntu.org