

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



ISSN 2221-951X

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**XXI век: итоги прошлого
и проблемы настоящего *плюс***

Периодическое научное издание

Серия: Технические науки.

Информатика, вычислительная техника и управление.

06(34)/2016

Пенза
ПензГТУ
2016

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ

ЖУРНАЛ

«XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс»:
Периодическое научное издание. – Пенза: Изд-во Пенз. гос.
технол. ун-та, 2016. – №06(34). – 188 с.

Решением Президиума ВАК при Минобрнауки России № 8/13 от 2 марта 2012 г. журнал включен в Перечень рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Журнал зарегистрирован как периодическое печатное издание в
Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций по
Пензенской области *ПИ № ТУ 58 – 00243 от 27 апреля 2015 года*



ISSN 2221-951X © Пензенский государственный технологический университет, 2016

Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Penza State Technological University

ISSN 2221-951X

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL JOURNAL

**"XXI century: Resumes of the Past
and Challenges of the Present plus"**

Scientific Periodical

**Series: Engineering Sciences.
Information Science, Computing Devices and Controlling.**

06(34)/2016

**Penza
PenzSTU
2016**

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL
JOURNAL

«XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus». Scientific periodical. – Penza: PenzSTU Publishing House, 2016. – № 06(34). – 188 p.

The journal is included in the List of reviewed scientific journals and editions for publishing principal scientific theses results approved by the Resolution of the Presidium of the Supreme Certification Commission of the Ministry of Education and Science of Russia (№ 8/13, March 2nd, 2012).

The journal is registered as periodic printed publication at the Department of the Federal Control Service for Communication, Information Technologies and Mass Communication in the Penza region
ИИ № ТУ 58 – 00243 April, 27th, 2015



СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ. ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УРОВНИ АБСТРАКЦИИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА.....	9
© <i>И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	

ЭЛЕКТРОННОЕ УЧАСТИЕ ГРАЖДАН СТАРШЕГО ВОЗРАСТА В ДИСКУССИЯХ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ.....	13
© <i>Л.А. Видясова, Университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия)</i>	
© <i>Д.М. Новиков, Университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия)</i>	

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА АНАЛИЗА ПОРТАЛОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЩЕНИЙ ГРАЖДАН.....	18
© <i>Л.А. Видясова, Университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия)</i>	

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ, ОБНАРУЖЕНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАРТ ГЛУБИНЫ ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АССИМЕТРИЧНЫХ ВИДЕОСИСТЕМАХ.....	23
© <i>А.А. Алексеев, Университет ИТМО (Санкт-Петербург, Россия)</i>	

АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ СТОХАСТИЧЕСКИ НАНЕСЕННЫХ МЕТОК.....	30
© <i>Л.С. Беккель, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Калуга, Россия)</i>	
© <i>В.Д. Шкилев, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Калуга, Россия)</i>	

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ, НАХОДЯЩИХСЯ НА КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЕ.....	34
© <i>В.В. Белов, Рязанский государственный радиотехнический университет, (г. Рязань, Россия)</i>	
© <i>А.К. Лопатин, Государственный социально-гуманитарный университет (г. Коломна, Россия)</i>	

МЕТОД СЕГМЕНТАЦИИ ПОЛНОГРАДАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ.....	43
© <i>В.В. Брызгалин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ШТРИХ-КОДА В ФОРМАТЕ PDF417.....	48
© <i>А.В. Бурмистров, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр «Атлас» (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
ИМПУЛЬСНЫЙ ФАЗОВЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ В РАДИОЛУЧЕВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ОХРАНЫ.....	57
© <i>Е.А. Данилов, Пензенский государственный технологический университет, (Пенза, Россия)</i>	
ВЫДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ КОМПЕНСАЦИИ СМЕЩЕНИЯ ФОНА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	61
© <i>В.А. Кочкин, НИИ Радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва, Россия)</i>	
© <i>В.Ю. Лоскутов, НИИ Радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва, Россия)</i>	
ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЪЕМ ЗОНЫ НАБЛЮДЕНИЯ В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ОХРАНЫ....	72
© <i>И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ 3D ИЗОБРАЖЕНИЯ: ГИПРЕТРЕЙС-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ.....	81
© <i>Н.Г. Федотов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>А.А. Сёмов, ООО «КомХэлф» (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>А.В. Моисеев, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	
МЕТОД ВЫБОРА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА НА ОСНОВЕ ЧАСТНЫХ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ОЦЕНОК ИНФОРМАЦИОННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ДРУГИХ ПАРАМЕТРОВ.....	90
© <i>Ю.А. Башивеев, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>А.Н. Милованов, АО “Радиозавод” (г. Пенза, Россия)</i>	
ВЫЧИСЛЕНИЕ СТЕПЕНИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ ДОКУМЕНТОВ.....	96
© <i>Усачев Ю.Е., Пензенская государственная технологическая академия, (г. Пенза, Россия)</i>	

СТРУКТУРЫ, МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	104
© <i>Т.В. Андреева</i> , Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)	
© <i>П.Г. Андреев</i> , Пензенский государственный университет, (г. Пенза, Россия)	
© <i>И.И. Сальников</i> , Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)	
ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ И СОЛЕНОИДОВ И СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	110
© <i>Ю. Н. Слесарев</i> , Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)	
© <i>А. А. Воронцов</i> , Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)	
АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ДИНАМИКИ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗОВ ПОДСИСТЕМ И ДЕВИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ	116
© <i>А.К. Гришко</i> , Пензенский государственный университет (Пенза, Россия)	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УРОВНЯ И ПЛОТНОСТИ ТОПЛИВА НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	122
© <i>Е.С. Дёмин</i> Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)	
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НЕАНАЛИТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	129
© <i>Ю.Н. Косников</i> , Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)	
© <i>Хоанг Тхай Хо</i> , Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗАТОРА АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА	137
© <i>А.Ф. Зубков</i> , Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)	
© <i>Л.В. Корогодина</i> , МБОУ МГ №4 «Ступени», г. Пенза, Россия	
© <i>Н.В. Назарова</i> , Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)	

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ КИХ-ФИЛЬТРОВ, РЕАЛИЗУЕМЫХ НА ПЛИС	141
© <i>И.В. Ушенина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
АЛГОТИРМЫ, УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРОВ ЗАДАЧ СО СТРАТЕГИЕЙ РАЗДЕЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ С ОДНОРОДНЫМ И НЕОДНОРОДНЫМ ВХОДЯЩИМ ПОТОКОМ И ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНОЙ ОЧЕРЕДИ	149
© <i>А. И. Мартышкин, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ	
ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА НА ПРИМЕРЕ ЧАСТНОГО ОБЛАКА КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ ПЕНЗГТУ	155
© <i>А.А. Воронцов, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)</i>	
© <i>О.С. Жарова, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ КАФЕДРЫ	162
© <i>А.Ф. Зубков, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>И.В. Есаулова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Э.А. Хорошева, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ВЫСЕВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ С РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНО-ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	168
© <i>Д.В. Синёнков, Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>С.Б. Дёмин, Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)</i>	
СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ АКТУАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ	177
© <i>Д.В. Смирнов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТА ПО ЕГО НЕВОСПРОИЗВОДИМОЙ СТОХАСТИЧЕСКИ НАНЕСЕННОЙ МЕТКЕ	184
© <i>Л.С. Беккель, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Калуга, Россия)</i>	
© <i>В.Д. Шкилев, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Калуга, Россия)</i>	

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ. ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 28.23.00
ББК 22

**УРОВНИ АБСТРАКЦИИ
В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**
© *И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

**LEVELS OF ABSTRACTION IN
OF INTELLECTUAL HUMAN ACTIVITY**
© *I.I. Salnikov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В работе рассмотрены уровни абстрактного мышления, свойственные различным видам интеллектуальной деятельности человека: созерцательный уровень, программный уровень, уровень взаимодействия объектов, математический уровень, эвристический уровень абстракции.

Ключевые слова: абстракция, уровень мышления, созерцание, программирование операций, взаимодействие объектов, математический уровень абстракции, эвристическое мышление человека.

The paper discusses the levels of abstract thinking, inherent in the various types of human intellectual activity: the contemplative level, software level, the level of interaction, mathematical level, heuristic level of abstraction.

Key words: abstraction, level of thinking, contemplation, programming operations, object interaction, mathematical level of abstraction, heuristic thinking.

В настоящее время мы являемся свидетелями бурного роста информационных технологий, которые проникают буквально во все сферы деятельности человека. Если на начальном этапе своего развития человек использовал образное мышление, когда объектом его деятельности были реальные предметы, то потом наблюдается процесс постепенного перехода к абстрактным образам, с использованием символов и различных графических построений [1].

Рассмотрим уровни абстрактного мышления, сделав попытку систематизации того огромного многообразия, которое существует в настоящее время.

1. Созерцательный уровень абстракции. Характеризует образное восприятие окружающего мира. Созерцательный уровень абстракции широко используется человеком в таких областях, как изобразительное искусство, музыка, литература, поэзия, кинематография и т.д., то есть везде, где используются образы – зрительные, слуховые, эмоциональные, привнесенные из живого и неживого окружающего мира. При этом человек, используя созерцательный уровень абстракции, выполняет различные преобразования над образами – копирует, запоминает, синтезирует, формирует гибриды, когда объединяются реальные и синтезированные образы. В рамках созерцательного уровня абстракции, используя современные информационные технологии, создаются произведения искусства.

2. Программирование как уровень абстракции представляет собой реализацию алгоритмов в виде последовательности действий, для которой

характерным является совокупность операций, на основе которых создается программа, записанная в рамках синтаксиса языков высокого уровня.

Вне зависимости от уровня абстракции представления явлений в окружающем нас мире все огромное их разнообразие благодаря эвристическим способностям человека сводятся к бинарному состоянию элементов вычислительной техники – ключевых элементов, число которых, участвующих в вычислительном процессе, неизмеримо велико. При этом, основой всех великолепных достижений информационных технологий является достигнутый уровень вычислительной техники [2].

Разделение моделей физических процессов, описываемых, как правило, непрерывными аналоговыми сигналами на дискретные отсчеты во времени и квантование по уровню физической величины с заменой каждого уровня цифровым кодом, привело к универсальному применению двоичных состояний каждого разряда цифрового кода вне зависимости от сущности физических процессов в окружающем нас мире.

В природе нет бинарных процессов, все физические процессы характеризуются аналоговыми, то есть непрерывными параметрами – яркость света, цвет, звук, давление, температура, скорость передвижения, и много другое. Пожалуй, только квантовая механика, основные постулаты которой определяют дискретное состояние энергетической системы, когда взаимодействие осуществляется путем дискретной передачи квантов энергии. Дискретное представление – есть, но двоичного кодирования в природе – нет!

Таким образом, программирование и двоичное кодирование являются гениальными достижениями мысли человека, его эвристических способностей, позволяющих придумывать структуры, отсутствующие в природе.

На начальном этапе программирование представляло собой формирование кодовых таблиц, в которых записывались последовательность операций, закодированных совокупностью логических «0» и «1».

Затем стало ясно, что человеку трудно оперировать этими символами, и вероятность ошибиться была очень велика. Тогда появилась 16-ричная система исчисления, которая увеличивала число символов до 16. Вероятность ошибок стала меньше.

Но оперировать числовыми символами не очень удобно, так как в них не видно сути выполняемых операций, а операции – сложение, умножение, поразрядный сдвиг, и т.д. представляются в виде числового кода. Тогда появился мнемокод, когда запись программы уже отделилась от двоичной системы описания машинных команд. Дальнейшим развитием систем программирования явился Ассемблер, который был ориентирован на конкретный процессор, включал в себя систему мнемокодов и некоторые служебные операции.

Следующим шагом развития программирования стало появление языков высокого уровня, наблюдается движение к математической форме представления операций, к наиболее абстрактной их форме.

Современные языки высокого уровня, например *Pascal*, *C++*, могут реализовать любые задачи, но потребитель уже не хочет заниматься оформлением результата разработки программы, - рисовать рамки, кнопки, всплывающие меню, графики, таблицы, вставлять графику и т.д. Вся эта рутинная работа вполне может делаться с помощью готовых графических форм в виде подпрограмм. Так появились средства визуального программирования, которые предлагают разработчику широкий спектр графических возможностей по оформлению

интерактивных средств взаимодействия пользователя с данным программным продуктом. Системы визуального программирования в своем ядре имеют распространенный на данном историческом этапе язык высокого уровня и программные средства визуального представления процессов, которые позволяют создавать эффективные программные продукты [3,4].

3. Уровень абстракции при описании взаимодействия объектов, когда объекты или предметы заменяются условными, абстрактными обозначениями, а взаимодействие между ними представляют в виде графических связей. Для того, чтобы условные обозначения были понятны всем, используются стандарты – документы, определяющие перечень условных обозначений. Какая-то связь между реальными объектами и условными обозначениями остается.

Одной из областей интеллектуальной деятельности человека, в которой применяется данный уровень абстракции, является схемотехника – как средство представления совокупности объектов физических явлений и описываемых их законов, например, законов электромагнетизма. На ранней стадии развития схемотехники использовались условные обозначения основных аналоговых элементов электрических цепей – резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, реле, электровакуумных ламп, транзисторов, интегральных схем и т.д.

Затем сформировалось целое направление логических функциональных элементов, использующих логические функции над двоичными кодами, когда основой данного уровня абстракции явился ключ – как управляемое устройство с двумя устойчивыми логическими состояниями «0» и «1».

Кроме условных обозначений элементов для данного вида абстракции важную роль играет процесс формирования связей между функциональными блоками. Если на ранней стадии развития данного уровня абстрактного представления объектов и описания связей между ними использовался аналоговый подход, то в настоящее время наблюдается широкое использование цифровых методов анализа, преобразования и формирования связей в информационных технических системах, реализующих цифровую обработку информации (ЦОИ).

В настоящее время успешно развиваются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), в которых огромное значение передается формированию связей между конфигурируемыми логическими блоками (КЛБ), которые, как правило, весьма просты по своему составу. При современном уровне технологии интегральных схем на одном кристалле можно разместить огромное число ключевых элементов – до нескольких сот миллионов. Само по себе такое число ключевых элементов недостаточно для реализации заданных потребителем функций. Еще необходимо наличие средств реализации соединений между КЛБ.

Что касается уровня разработки систем ЦОИ, то в настоящее время наблюдается отказ от схемотехнического представления элементов цифровой схемы и широкое использование специального языка описания схем соединений *VHDL* и его модификации.

Для данного уровня абстракции наблюдается аналогия с программированием, только программирование стремится от последовательности операций к математической форме представления программного кода. Здесь же мы наблюдаем представление связей между элементами, которое также приближается к математической форме представления с использованием соответствующего синтаксиса.

4. Математический уровень абстракции. Наиболее абстрактный уровень, когда элементами математических представлений и моделей являются

значки, символы, буквы, цифры, в совокупности которых формируются математические формулы, описывающие реальные и абстрактные процессы.

При этом элементы математики весьма разнообразны. Это константы, векторы, переменные, переменные детерминированные, когда известен закон их существования, и случайные, когда такого закона нет и остаются только вероятностные характеристики, которые проявляются при большом числе испытаний. Элементы математики объединяются в различные формы, такие как – функции, функционалы, матрицы, уравнения, неравенства.

Казалось бы, что математический уровень абстрактного мышления человека является наиболее высоким уровнем. Но так или иначе, этот уровень все же является описательным, то есть описывает с помощью математических символов то, что уже есть.

А если еще ни теории, ни закономерностей не существует, то тогда всплывает еще один уровень абстракций, когда особую роль играет интеллектуальная деятельность человека, которая характеризуется эвристическими способностями, существенным образом отличая человека от животных.

5. Эвристический уровень абстракции человека является одним из самых ярких проявлений его интеллекта и заключаются в способности человека к научному исследованию, которая характеризуется следующими аспектами [5]:

- регистрация и анализ фактов, событий, то есть сбор и обобщение информации о каком либо явлении в окружающем мире;

- формирование модели наблюдаемого явления, когда отбрасываются все несущественные детали, а используются для моделирования существенные факты, предметы и свойства;

- анализ построенной модели и выявление закономерностей, формулировка законов с использованием эвристических способностей, позволяющих обоснованно находить причину тех, или иных явлений;

- принятие решения, которое является основополагающим в мыслительной деятельности человека, является сутью интеллекта человека.

Эвристический уровень абстракции интеллектуальной деятельности человека, проявляющийся на этапе принятия решения, включает в себя несколько подходов, которые включаются в методологию принятия решений как науки, изучающей методы принятия решений при интеллектуальной деятельности человека. Выделим следующие методы принятия решений:

- *метод, основанный на предшествующем опыте*, когда исходные условия, по которым надо принять решение, повторяются;

- *алгоритмический метод*, когда используются известные законы и детерминированные условия получения и преобразования информации;

- *метод выдвижения и проверки гипотез*, когда имеются закономерности, частично описывающие происходящие события. В этом случае по полученным исходным данным выдвигается гипотеза о результате, выполняется проверка гипотезы с использованием существующих закономерностей на сопутствующих условиях, и, если наблюдается совпадение, то гипотеза принимается за решение; в противном случае – отвергается;

- *эвристический метод*, когда отсутствуют законы и закономерности и требуется их выявить и сформулировать. При этом используются догадки, которые свойственны интеллекту человека, и, которые кладутся в основу законов и закономерностей. Найденные законы и закономерности используются в дальнейшем в практических целях.

Список литературы

1. Сальников И.И. Структура иерархической системы поддержки принятия решения по объективному выбору средства реализации проектируемой системы цифровой обработки информации. // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. Пенза: Пенз. гос. технолог. университет. – 2012. №5(09). С.69- 73.*
2. Сальников И.И. Этапы развития средств реализации информационной потребности человека. // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. Пенза: Пенз. гос. технолог. университет. – 2011. №3(03). С.10-18.*
3. Сальников И.И. Методы размерной селекции при анализе бинарных изображений. // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. Пенза: Пенз. гос. технолог. университет. – 2014. №3(19). С.89-95.*
4. Сальников И.И. Размерная селекция бинарных изображений локальных объектов при анализе аэрофотоснимков. // *Телекоммуникации. М: – 2015. №2. С.17-23.*
5. Сальников И.И. Движущие силы развития средств удовлетворения информационных потребностей человека. // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. Пенза: Пенз. гос. технолог. университет. – 2014. №3(19). С.11-15.*

УДК 06.4.10, 07.5.10

ББК 30

ЭЛЕКТРОННОЕ УЧАСТИЕ ГРАЖДАН СТАРШЕГО ВОЗРАСТА В ДИСКУССИЯХ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

© *Л.А. Видясова, Университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия)*

© *Д.М. Новиков, Университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия)*

SENIOR'S E-PARTICIPATION IN ONLINE NETWORK DISCUSSIONS

© *L.A. Vidiasova, ITMO University (St.Petersburg, Russia)*

© *D.M. Novikov, ITMO University (St.Petersburg, Russia)*

Статья посвящена вопросам автоматизированного анализа социальных сетей применительно к выявлению трендов в участии людей старших возрастных групп в онлайн дискуссиях. В авторском исследовании применяются средства автоматизированного анализа, разработанные в Университете ИТМО, инструментарий теории графов, визуализатор Gephi. В результате работы сделаны выводы о качественных характеристиках изучаемой социальной группы.

Ключевые слова: сетевое сообщество, граф, социальная сеть, автоматизированный анализ

The article is devoted to revealing the trends in senior's participation in social network groups. The authors applied automated analytical tools developed at ITMO University, as well as graph theory methodology, and Gephi visualization. As a result the conclusions of the qualitative characteristics of the studied social group have been underlined.

Key words: network community, graph, social network, automated analysis.

E-mail: bershadszkaya.lyudmila@gmail.com, trexx58@yandex.ru

Проблематика использования ИКТ-технологий людьми старших возрастных групп активно исследуется в мировой [1] и отечественной практике [2]

в связи, прежде всего, с глобальным трендом старения населения и возникающей необходимостью в поиске новых ресурсов для поддержания занятости и активной жизни людей старших возрастных групп [3].

В России динамика проникновения интернета среди пользователей 55+ демонстрирует устойчивый рост: по данным компании Synovate Comcon на март 2015 г. [4] каждый третий гражданин в России в данной возрастной группе пользуется интернетом хотя бы раз за три месяца. При этом использование социальных сетей достигает уровня 44% в данной группе.



Рисунок 1 – Динамика роста интернет-аудитории в России в 2004- 2014 годах.
(Источник: РосИндекс, Synovate Comcon)

В данной статье представлены результаты проектного исследования, направленного на анализ формирования сетевого сообщества пользователей социальной сети «ВКонтакте» старших возрастных групп. В исследовании применялась методология теории графов, позволяющая описывать и интерпретировать исследуемое сообщество.

В рамках исследования был проведен автоматизированный анализ сетевых сообществ, формирующихся вокруг групп в социальной сети «ВКонтакте» и находящихся в предметной области изучения.

Для проведения анализа были вручную отобраны группы «ВКонтакте», посвященные тематикам, связанным с людьми старшего возраста. Основными критериями для отбора групп стали следующие:

- наличие достаточно большого числа участников (более 1000) для того, чтобы производить измерения графов связей между ними,
- группа является активной, информация в ней обновляется, ведутся обсуждения, участники оставляют комментарии,
- группа является площадкой для общения людей старшего возраста, либо содержит контент, востребованный среди представителей данной группы, либо раскрывает тематики, связанные с пожилыми людьми (уход за ними, санаторий, программа политических действий и т.д.).

Для анализа был использован автоматизированный инструмент, разработанный в Университете ИТМО в 2011-2012 гг., позволяющий искать информацию в социальных сетях, выгружать данные о группах в социальных сетях, отображать связи между участниками данных групп.

Алгоритм проведения исследования включал следующие шаги.

1. Поиск групп «ВКонтакте» для анализа; осуществлялся вручную экспертной группой.

2. Постановка задачи поиска данных в отобранных группах посредством указания *URL* групп в пакете *SD Crawler*.

3. Автоматизированный краулинг сетей в сохранении найденных данных в файлы формата *.*csv*.

4. Анализ данных с помощью программы *Gephi*, позволяющей визуализировать полученные графы связей, а также рассчитывать статистические показатели.

В данной статье мы приводим результаты анализа группы «Для тех, кому за 50» (<https://vk.com/club69638>), насчитывающей на момент исследования 2,8 тыс. участников. Стоит отметить, что количество участников продолжает расти.

Данная группа является, по сути, клубом для обсуждений по самым разным тематикам, волнующим людей старшего возраста, начиная от вопросов поиска работы, и заканчивая самыми разнообразными хобби. Группа является открытой, ее контент доступен для просмотра не только участникам, но и всем пользователям социальной сети «ВКонтакте».

На рисунке 2 представлен визуализированный граф участников сообщества. Данный граф имеет 4128 ребер. Таким образом, один участник группы в среднем связан хотя бы с одним пользователем группы.

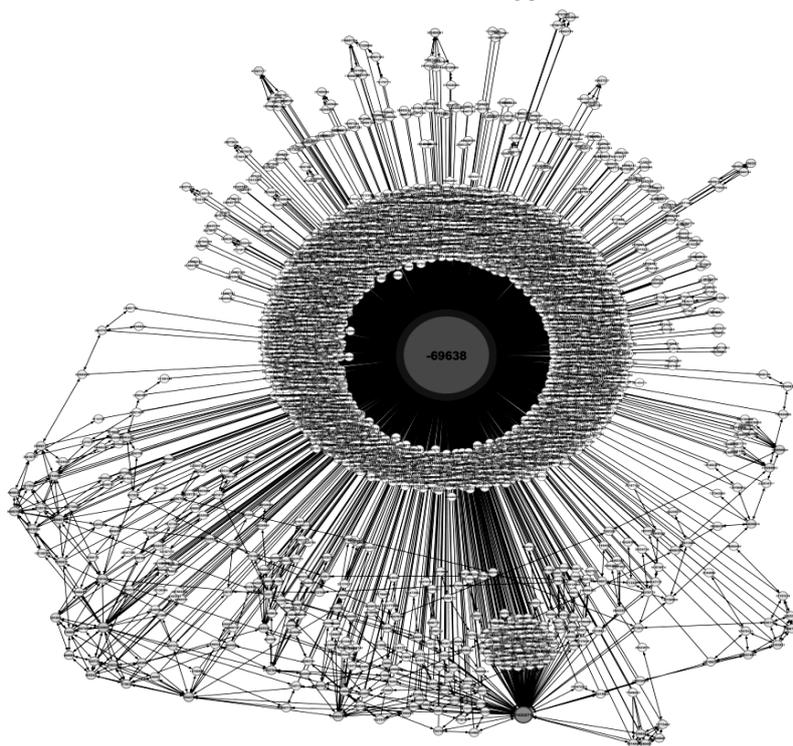


Рисунок 2 – Граф пользователей группы «Для тех, кому за 50»

Построенный граф наглядно демонстрирует, что большинство пользователей являются подписчиками данной группы, но не состоят ни в каких отношениях с другими ее членами. Отдельные пользователи имеют связи с 1-3 другими участниками группы. В ходе исследования мы подробно проанализировали профили тех

пользователей, которые связаны с наибольшим количеством других. Среди них преобладают пользователи непенсионного возраста, профиль которых показывает связь с раскруткой других групп «ВКонтакте». Очевидно, что эти пользователи сделали репосты сообщений не из-за интересного контента, а преследуя цель дополнительного рекламирования своих ресурсов. Кроме того, было найдено два активных пользователя старшей возрастной группы, регулярно публикующие посты о своей жизни, либо записи, затрагивающие тематику «третьего возраста».

Для задачи анализа активности пользователей был построен граф, показывающий распространение репостов между пользователями, то есть повторной публикации тех сообщений сообщества, которые его участники посчитали интересными для себя. Построенный граф репостов представлен на рисунке 3. За период с 15.05.2011 (создание группы) до 23.04.2016 (время проведения исследования) в группе было опубликовано 173 поста, размещенных в «ВКонтакте».

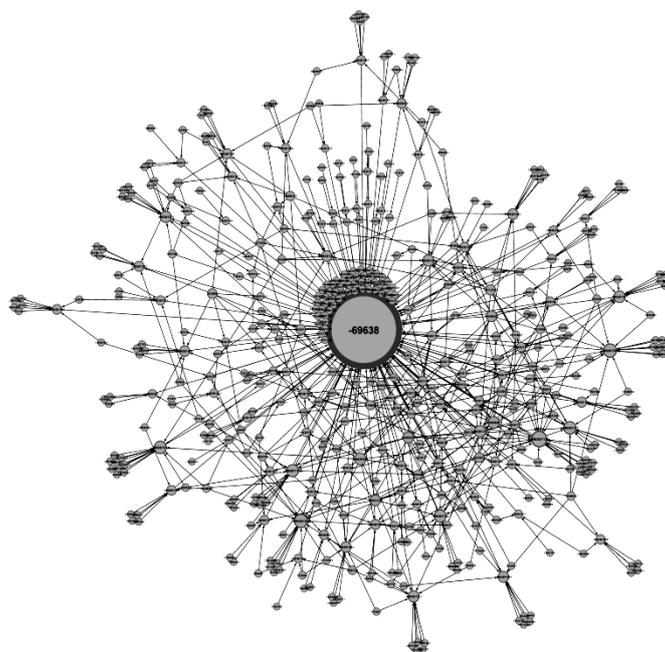


Рисунок 3 – Граф репостов сообщений группы «Для тех, кому за 50»

По результатам исследования было выявлено, что показатели популярности сообщений в данной группе не высоки: в среднем 1 запись приходится 1,263 репостов. Анализ сообщений, получивших наибольшее количество репостов, выявил наибольший интерес пользователей к тематикам ведения домашнего хозяйства (22 репоста на сообщение), занятий с детьми (16 репостов на сообщение), здоровья и профилактики болезней (13 репостов на сообщение), развлекательного контента (12 репостов на сообщение).

В ходе исследования особый интерес вызывал вопрос о связи тех участников, которые делают репосты сообщений из группы. Граф на рисунке 4 показывает связь между конкретными участниками, сделавшими репосты сообщений из группы. Всего было обнаружено 122 репостера, т.е. участника, которые разместили информацию из сообщества на своей странице, что составляет примерно 4% от всех участников данного сообщества. В среднем на одного репостера приходится 3-4

дальнейших распространителей сообщений. Из всех репостеров 10 являются группами, которые разместили информацию у себя в сообществе. Примечательно, что 67% из респостеров являются вторичным, то есть увидевшими эти записи на страницах участников группы. Первичных репостеров было обнаружено 36 человек. В ходе анализа было выявлено 619 цепочек репостов сообщений и 164 связей между репостерами.

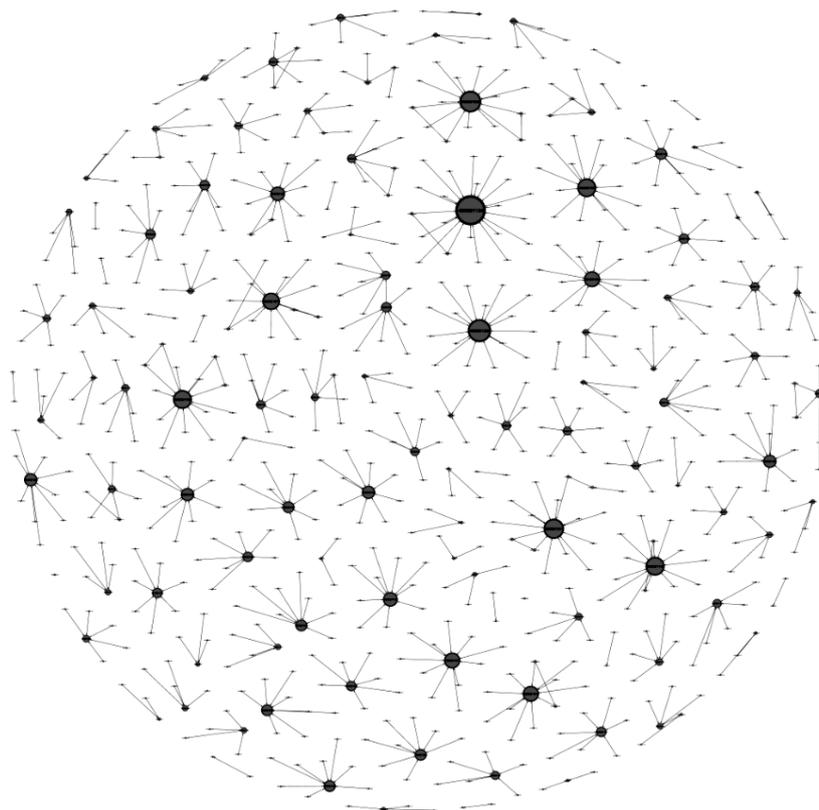


Рисунок 4 – Граф связей репостеров сообщений группы «Для тех, кому за 50»

Кроме того, на графе видно, что активные репостеры практически никак не связаны между собой. В целом данная группа служит примером скорее информационной площадки, на которой происходит публикация сообщений, отдельные участники делают репосты этих записей, а от них данные сообщения распространяются по кругу их друзей в данной социальной сети.

В результате проведенного анализа были получены выводы об отсутствии сформированного сообщества пользователей старших возрастных групп на анализируемой площадке. Исследованная группа в сети «ВКонтакте» представляет собой скорее информационную площадку, чем реальное объединение дискутирующих пользователей. Проникновение интернета на данном этапе не выводит пользователей старшей категории на новый уровень коммуникации между собой. Тем не менее, устойчивый рост участников сообщества свидетельствует о заинтересованности пользователей тематикой и информационным наполнением данного ресурса.

Список литературы

1. Price M., Rainey K., Creber P., Yousef A., Pieris A., Dutta D. Silver surfers – The new generation? *European Geriatric Medicine*, 4 (1), 2013, p. S112
2. Пожилые россияне: социальное самочувствие и образ жизни. Пресс-выпуск ВЦИОМ №2416 от 01.10.2013, 2013. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://wciom.ru/index.php?id=459&uid=114516>
3. Григорьева И.А., Биккулов А.С. Пожилые в мире ИКТ. Социальное включение, занятость или новая форма потребления? Интернет и современное общество: сборник научных статей. Труды XVI Всероссийской объединенной конференции «Интернет и современное общество» (IMS-2013), Санкт-Петербург, 9 – 11 октября 2013 г., 2013. С. 123 – 128.
4. Исследование аудитории Интернета в России. Synovate Comcon. 2015 Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.comcon-2.com/default.asp?artID=3022>

УДК 06.4.10, 07.5.10
ББК 22

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА АНАЛИЗА ПОРТАЛОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЩЕНИЙ ГРАЖДАН

© *Л.А. Видясова, Университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия)*

AN AUTOMATED TOOL FOR CITIZENS' ELECTRONIC COMPLAINTS ASSESSMENT

© *L.A. Vidiasova, ITMO University (St.Petersburg, Russia)*

Статья посвящена актуальной проблеме разработки средств автоматизированного анализа работы инструментов электронного участия в России. Появление таких инструментов – это достаточно новое и не изученное явление. Международная практика показывает результативность аналитики в данной области для задач прогнозирования тенденций изменения общественного мнения. Для реализации этих задач в Университете ИТМО создана система мониторинга порталов электронного участия.

Ключевые слова: автоматизированный инструмент, порталы электронного участия, органы государственной власти

The article is devoted to an urgent issue of automated tools for e-participation analysis development. Implementation of such new electronic tools is a relatively new and unexplored phenomenon. International practice shows the effectiveness of analysts in this field for the tasks of forecasting trends in public opinion. An automated analytical system was created at the ITMO University to realize these objectives.

Key words: automated research tool, e-participation portals, authorities

E-mail: bershadszkaya.lyudmila@gmail.com

В мировой практике имеются разработанные методики оценки работы инструментов электронного участия [1]. Некоторые из них позволяют оценивать достаточно унифицированные характеристики [2, 3] и проводить межстрановые сопоставления [4], другие, напротив, направлены на изучения состояния дел в отдельных странах и регионах [5].

Однако большинство из них являются достаточно ресурсоемкими, а время сбора данных и проведения аналитики существенно растягивается в виду

предмета исследования. В то же время, информация на порталах электронных обращений и петиций, сама по себе, содержит большой массив данных, позволяющий выстраивать тенденции относительно активности различных социальных групп, общественных настроениях и даже протестных тенденциях.

Для проведения оперативной аналитики подобных ресурсов в Университете ИТМО была разработана автоматизированная система мониторинга порталов электронного участия (<http://analytics.egov.ifmo.ru/>).

Данная система предназначена для сбора информации по динамике голосования на порталах электронного участия и применяется для дальнейшего анализа, фильтрации, навигации и отображения данных в целях мониторинга изменения интенсивности голосования по темам и категориям.

Сбор данных в системе осуществляется двумя способами:

1) получение через *API* (*application programming interface*, интерфейс программирования приложений) с тех ресурсов, которые поддерживают данный формат,

2) парсинг (синтаксический анализ) исходного кода страниц сайта.

Собранные данные размещаются в базе данных системы, пользователь может видеть их отображение в удобном виде через *web*-интерфейс системы. Кроме того, для удобства пользователя в системе размещены отчеты о проведенных исследованиях, описания различных порталов электронного участия, а также файлы с инфографикой. На рисунке 1. представлена архитектура системы мониторинга порталов электронного участия.

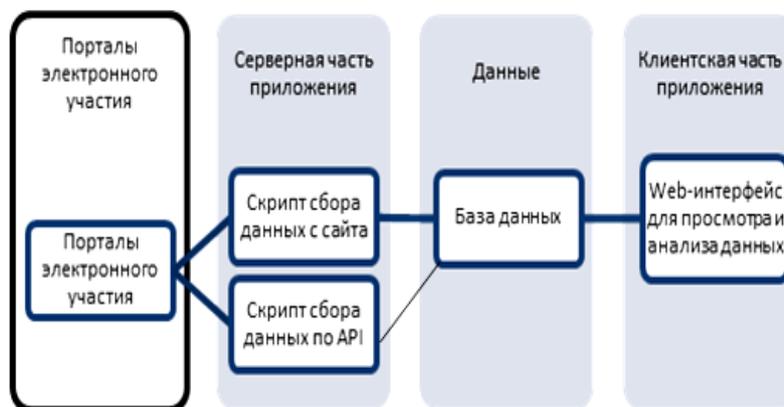


Рисунок 1 – Архитектура системы мониторинга порталов электронного участия

На данном этапе к системе мониторинга подключены три ресурса: портал публикации электронных петиций – «Российская общественная инициатива» (<https://www.roi.ru/>), а также площадки для решения городских проблем «Красивый Петербург» (<http://красивыйпетербург.рф>) и «Наш Петербург» (<http://gorod.gov.spb.ru/>).

В данной статье мы опишем разработанный функционал системы мониторинга на примере анализа портала «Российская общественная инициатива». Этот интернет-ресурс создан во исполнение указа Президента Российской Федерации от 4 марта 2013 г. N 183 «О рассмотрении общественных инициатив, направленных гражданами Российской Федерации с использованием интернет-ресурса «Российская общественная инициатива». Общественными инициативами считаются пред-

ложения граждан России по вопросам социально-экономического развития страны, совершенствования государственного и муниципального управления.

С помощью данного портала гражданин может подать свою инициативу, ознакомиться с другими поданными петициями, проголосовать «за» и «против» инициативы, посмотреть информацию о количестве поданных голосов. На портале размещаются инициативы федерального, регионального и местного значения. Каждый из этих типов петиций имеет минимальный порог голосов, необходимый для передачи инициативы в экспертную группу для рассмотрения, анализа на непротиворечивость основополагающим законам страны и т.д. Далее в результате положительного заключения инициативы передаются ответственным органам власти для выработки решений.

В результате разработки системы был полностью реализован сбор данных через API, представленный на портале. В ходе проведения аналитики собранных данных было выявлено, что абсолютное большинство публикуемых инициатив на портале относятся к федеральному уровню (87%). Стоит отметить, что для успешного прохождения федеральной инициативы на обсуждение в экспертную группу, ей необходимо набрать 100 тыс. голосов в течение одного года.

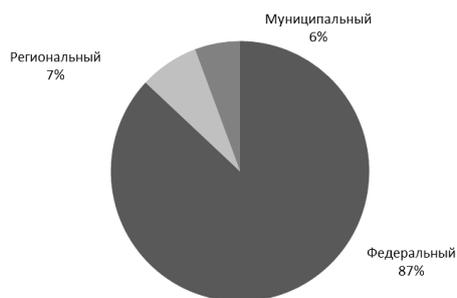


Рисунок 2 – Распределение инициатив на портале «Российская общественная инициатива», по уровням

За два года работы портала можно отметить общий спад активности пользователей по публикации инициатив: так, если в первый месяц работы ресурса на нем было опубликовано 800 инициатив, то ежемесячно в течение 2016 года на портале публикуется не более 200 петиций (рис.3).

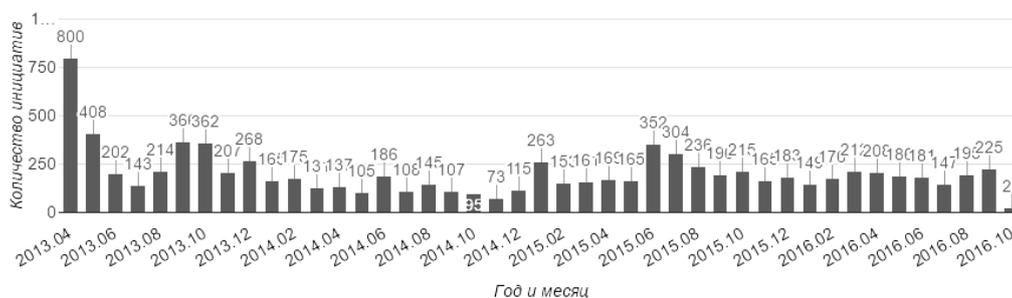


Рисунок 3 – Динамика подачи инициатив на портале «Российская общественная инициатива», 2014-2016 гг.

Инструмент классификации голосов позволил выявить следующую тенденцию: большинство голосов, размещенных на портале, подаются в поддержку публикуемых инициатив (рисунок 4). В целом, динамика голосования пользователей колеблется от 150 тыс. до 430 тыс. голосов в месяц.

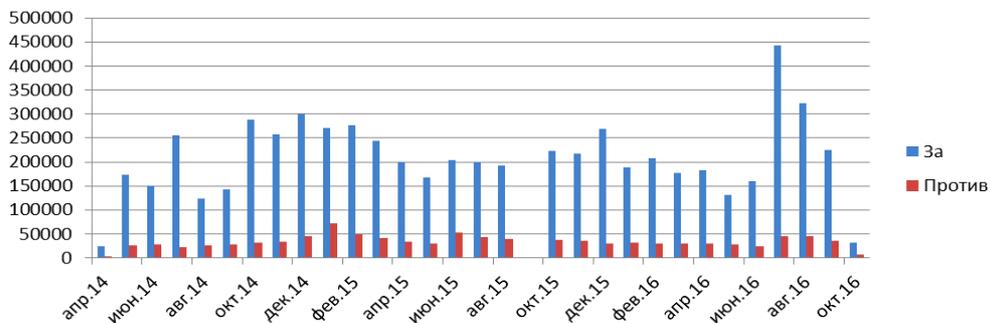


Рисунок 4– Динамика голос «за» и «против» инициатив, размещенных на портале «Российская общественная инициатива», апрель 2014- октябрь 2016 гг.

На основе данных по динамике голосов, а также требований к минимально необходимому числу собранных подписей, в системе автоматизированного мониторинга был настроен расчет прогноза относительно возможности/невозможности преодоления инициативой требуемого порога. На рисунке 5 представлен график, доступный в пользовательском *web*-интерфейсе системы, где по оси *X* отображается временной интервал, отведенный для сбора голосов (в процентах), а по оси *Y* – количество собранных голосов.

Инициативы, находящиеся в нижней части графика, демонстрируют слабую динамику по набору голосов, и если они не окажутся выше линии тренда (отмеченная синими кругами), то ее шансы на прохождение в экспертную группу практически равны 0.

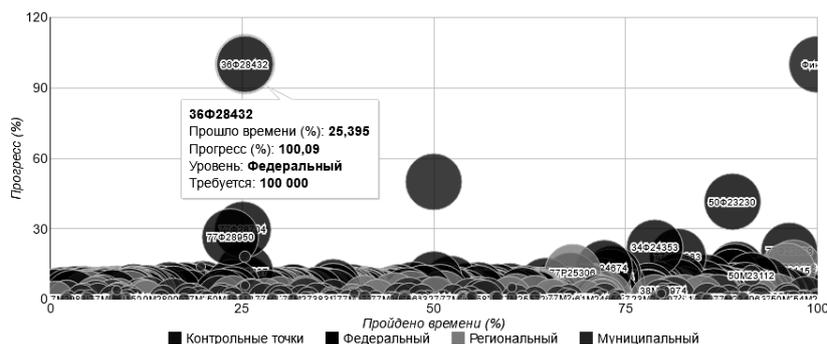


Рисунок 5 – Прогресс набора голосов по инициативам, размещенным на портале «Российская общественная инициатива»

Как видно из графика, на данный момент лишь три инициативы имеют шансы быть рассмотренными и переданными в ответственные органы власти для принятия решений. Инициатива, находящаяся в левом верхнем углу графика, набрала необходимое количество голосов раньше срока (в 25% времени).

Эта инициатива направлена на отмену нашумевшего «пакета Яровой», принятого ранее в Государственной думе.

В результате тестирования работы системы аналитики были настроены автоматические фильтры, позволяющие пользователю выбирать интересующий его разрез для анализа (тип инициатив, тематика, регион и т.д.). Практическая значимость выполненной работы состоит в возможности использования результатов исследований и разработки для удовлетворения насущных потребностей органов власти и исследовательских структур в оперативном изучении общественного мнения.

Список литературы

5. *Medaglia R. eParticipation research: Moving characterization forward (2006-2011). Government Information Quarterly, 29, 2012. pp.346-360.*
6. *Macintosh A., Whyte A. Towards an Evaluation Framework for eParticipation. Transforming Government: People, Process and Policy, 2 (1), 2008. pp. 16-30.*
7. *Jho W., Song K. Institutional and technological determinants of civil e-Participation: Solo or duet? Government Information Quarterly, 32, 2015. pp.488-495.*
8. *E-Government Survey 2016: E-Government in Support of Sustainable Development. United Nations Report, 2016. URL: <http://workspace.unpan.org/sites/Internet/Documents/UNPAN96407.pdf>*
9. *Alathur S., Vigneswara I., Gupta M.P. Citizen empowerment and participation in e-democracy: Indian context. Proceedings of the 5th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance, 2011. pp.11-19.*

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ, ОБНАРУЖЕНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

УДК 007.52
ББК 22

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАРТ ГЛУБИНЫ
ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АССИМЕТРИЧНЫХ ВИДЕОСИСТЕМАХ**
© *А.А. Алексеев, Университет ИТМО (Санкт-Петербург, Россия)*

**METHODS AND ALGORITHMS TO OBTAIN A DEPTH MAPS
FOR USE THEM IN ASYMMETRIC VIDEO SYSTEMS**
© *A.A. Alexeev, ITMO University (Sankt-Petersburg, Russia)*

В работе рассмотрены основные методы формирования трехмерных изображений объектов, а также алгоритм оптимизации полученных карт глубины. Показано, что в обычных условиях съемки, данные глубины высокого разрешения могут быть использованы только при обучении, а само распознавание происходит на двумерных изображениях. Данное сочетание составляет суть ассиметричных систем.

Ключевые слова: оптические методы, 3D, карта глубины, ассиметричные 3D-2D системы

The paper discusses the basic methods of forming three-dimensional images of objects, as well as the optimization algorithm of cards of the depth. It is shown that in normal conditions, the depth data of high resolution can only be used during training and recognition itself occurs on two-dimensional images. This combination is the essence of asymmetric systems.

Key words: optical methods, 3D, depth map, asymmetric 3D-2D systems
E-mail: aaalexeev@corp.ifmo.ru

Двумерные системы распознавания получили широкое распространение и представляют интерес для решения различных задач. Среди них в качестве основных можно выделить:

- поиск выбранных объектов по фотографиям, в том числе в больших базах данных;
- поиск и распознавание объектов в видеопотоке.

Двумерные системы распознавания, как правило, не требуют наличия дорогостоящего оборудования. Для работы достаточно наличие персонального компьютера и недорогой стандартной видеокамеры. Не требуется физического контакта человека с системой, а ее работа может быть автоматизирована.

Основной сложностью качественной работы данных систем является отсутствие репрезентативной обучающей выборки, задачами которой являются учет: освещенности, перекрытий, различного пространственного расположения; вариативной природы объектов.

Такой учет возможен при распознавании трехмерных объектов. Как дальше будет показано, трехмерные данные сложно получить на любых расстояниях доступными и технически простыми средствами измерений. Зато возможно получение качественных трехмерных моделей объектов в лабораторных условиях и последующего использования этих данных на этапе обучения. Ниже

будет рассмотрен материал, который имеет отношение к формированию карт глубины для асимметричных систем.

Оптические методы сопоставления изображений. Можно разделить системы в зависимости от разрешающей способности – системы, обеспечивающие трехмерную реконструкцию высокого разрешения и системы, для которых параметр глубины является лишь дополнительным, улучшающим дальнейшую обработку параметром. В данной работе акцентируется внимание на высокоточной трехмерной реконструкции. Существует несколько оптических методов получения трехмерных координат. Наиболее распространенными методами являются:

- активные лазерные дальнометрические методы (импульсные, фазовые и интерференционные дальнометры);
- методы со структурированной подсветкой (используется проектор с шаблоном изображения и последующим применением триангуляции);
- методы на рассеянии Ламберта;
- методы на основе фокусирующего параметра камер (*DFE*, *DFD*);
- стереосопоставление (сопоставление точек изображений и последующая триангуляция);
- комбинация методов *DFD*, *DFE* и стереосопоставления;
- структура из движения (*structure from motion*).

Активные лазерные дальнометрические локационные системы. Лазерные дальнометры обладают рядом недостатков. Среди них слишком высокая цена, сложность использования на больших расстояниях, невозможность зондирования через прозрачные заграждения, слабая эффективность на зеркально отражающих объектах, а также подверженность атмосферным влияниям в виде тумана и капель дождя. Часто имеется зависимость от свойств поверхности, ее цвета и отражательной способности.

Методы, использующие структурированную подсветку. Методы со структурированной подсветкой имеют слабую зависимость от условий внешнего освещения, высокую скорость работы и качество получаемой карты дальностей, возможность скрытого использования при работе в невидимом глазу диапазоне волн. Среди недостатков следует отметить невысокую дальность работы, связанную с ограниченной мощностью излучения, необходимость использования дополнительного оборудования.

Методы на основе рассеяния Ламберта требуют наличие одного или нескольких источников внешнего освещения с известными пространственными координатами. Данный метод может использоваться только в лабораторных условиях.

Методы *DFD* (*depth from defocus*) и *DFE* (*depth from focus*) требуют наличия несколько кадров одного статичного изображения, снятых при различных параметрах фокуса камеры, а также обладают низкой разрешающей способностью по дальности.

Методы стереосопоставления используют физический принцип параллакса, схожий с принципами восприятия глубины нейрофизиологическими механизмами бинокулярного зрения человека. Они имеют высокую вычислительную сложность, не всегда хорошо работают со слабо контрастирующими поверхностями, имеют проблему перекрытий, не высокого разрешения, но при этом недороги, просты в использовании и не требуют лабораторных условий работы. Сравнение методов дано в работах [7]. Также следует отметить, что

стереокамеры, в отличие от других методов, позволяют регистрировать текстуру объектов в оптическом диапазоне. Например, при биометрическом распознавании известно, что текстура изображения лица имеет значительную распознавательную способность, даже если текстура лица одного человека была наложена на трехмерную модель другого человека. Использование при распознавании не только трехмерных координат, но и текстуры, позволяет существенно улучшить распознавательную способность.

При вычислении карты расстояний используются два изображения I_l и I_r , полученные с разнесенных в пространстве двух видеокамер и алгоритм триангуляции. Задача вычисления карты расстояний до точек поверхности базового изображения сводится к получению функции смещений (*disparity function*) точек базового изображения (*base image*, например I_l) по отношению к точкам сопоставляемого изображения (*matched image*, например I_r), а после этого вычисления расстояний до объектов. В работе [1] введена сущность *DSI* (*disparity space image*). Исходными данными для вычисления *DSI* являются значения опорных данных (пиксели, их окрестности, особые точки и т.п.) ректифицированных левого и правого изображений.

$$DSI_l(x, d) = | I_l(x, y) - I_r(x - d, y) | \quad (1)$$

Рассмотрим геометрическую структуру двух камер (рисунок 1). Центры камер C_l и C_r направлены в сторону точки наблюдения $R(X, Y, Z)$ и их проекции P_l и P_r образуют систему компланарных векторов. Полагаем, что изображения камер I_l и I_r ректифицированы. Ректификация обеспечивает расположение проекций общей наблюдаемой точки с двух камер на одной эпиполярной линии, что в свою очередь дает возможность поиска совпадений только по одной координате x . Базовая линия, которая соединяет центры камер, определяет расстояние между ними. В случае параллельно направленных камер с одинаковым фокусным расстоянием, справедливо соотношение

$$Z(x, y) = f * \frac{T}{d}, \quad (2)$$

где Z – расстояние до точки изображения или объекта, f – фокусное расстояние камер, T – расстояние между оптическими центрами камер (база), d – смещение между пикселями изображений (диспаратет).

В данном случае, карта *DSI* определяется смещениями проекций сопоставляемой точки изображения вдоль эпиполярной линии на координату x , $d = |v_1 - v_2|$ для каждого пикселя, при этом вычислений вдоль координаты y не требуется. Зная указанные параметры, по карте смещений точек базового изображения *DSI*, вычисляются расстояния для каждой точки.

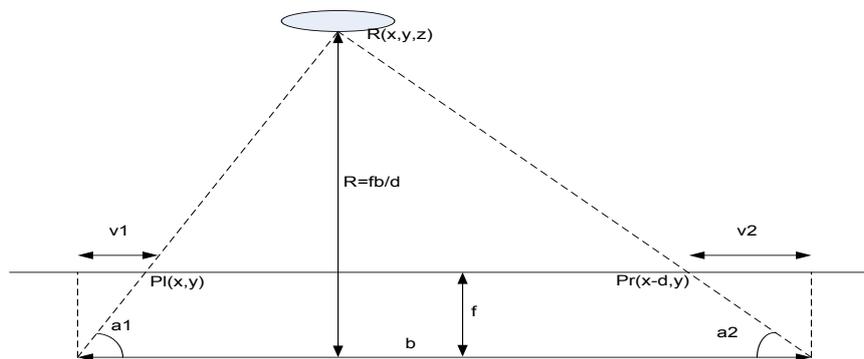


Рисунок 1 – Бинокулярная триангуляция ректифицированной пары изображений

Разрешение по дальности зависит от стереобазиса T [5], являющегося расстоянием между центрами параллельно направленных оптических осей камер. Величина стереобазиса связана с расстоянием Z до точек изображения объекта. Разрешение по дальности убывает с ростом расстояния до объектов при заданном значении базы. Поэтому, для обеспечения заданного разрешения на заданных расстояниях Z требуется правильно выбрать стереобазу T . Для расчета требуется знать: фокусное расстояние оптической системы f , горизонтальный β и вертикальный α углы обзора или физический размер матрицы $A \times B$, а также ее горизонтальное ΔA и вертикальное ΔB разрешения.

Вычисление горизонтального угла обзора β по известным размерам матрицы

$$\beta_{rad} = (\arctg(\frac{B}{2 * A})) * 2 \quad (3)$$

Зная угол β_{rad} можно определить размер горизонтальной области сцены

$$w = z * \tg(\beta_{rad}/2) * 2 \quad (4)$$

Горизонтальное пиксельное разрешение соответствует

$$H_{razr} = w / \Delta A \quad (5)$$

Из формулы выведем уравнение вычисления стереобазы камер через заданную разрешающую способность вычисления глубины.

$$\Delta d = (d_1 - d_2) = A / \Delta A \quad (6)$$

$$\Delta d = (f * \frac{T}{Z_1} - f * \frac{T}{Z_2}) \quad (7)$$

Далее выражается разница Z_1 и Z_2

Или можно вычислить другим способом (8)

$$\Delta Z = T \frac{f}{d} - T * \frac{f}{d + \Delta d} = Z^2 * \frac{\Delta d}{T * f + Z * \Delta d} \approx Z^2 * \frac{\Delta d}{T * f} \quad (8)$$

Последнее выражение является коэффициентом первого члена разложения в ряд Тейлора в точке Δd .

Задачей оптимизации полученной карты соответствий является поиск наилучшей, в смысле заданных критериев, общей карты глубины наблюдаемой сцены.

Методы получения структуры из движения. Предназначены для получения трехмерной структуры изображения за счет движения объекта или камеры. Данные методы имеют общие принципы оптимизации вычисления карты глубины с методами, используемыми в стерео сопоставлении, они также используют триангуляцию. Основное отличие заключается в том, что как правило, используется не пара, а целый ряд изображений, в том, что отсутствует ректификация изображений, а также в том, что для каждого изображения необходимо определять пространственное положение камеры. Нам преимущественно интересуют применение в условиях, когда камера фиксирована или незначительно передвигается, а объект может произвольно изменять свое пространственное положение. Имея ряд изображений I_n , а также m спроецированных точек соответствий между ними, возможно для каждого изображения найти матрицу проекции P_j , $j \in \{1, 2, \dots, n\}$, и тем самым относительно от объекта положение камеры. На принципах эпиполярной геометрии вычисляется фундаментальная матрица F [6], которая затем раскладывается на матрицы проекций для каждого изображения. Для получения плотной трехмерной карты объекта требуется вычисление плотной карты соответствий между парами изображений.

Анализ методов вычисления карты дальностей показал, что наилучшими, в смысле критериев применимости, простоты использования, низкой стоимости и высокого качества, являются метод стереосопоставления и метод структуры из движения. Данные два алгоритма могут иметь общие алгоритмы оптимизации карт глубины.

Оптические методы имеют ряд особенностей связанных как с особенностями самих камер, так и с условиями съемки. К особенностям самих камер следует отнести чувствительность ПЗС матриц, абберацию, дисторсию, астигматизм и точность изготовления оптического тракта. Влияние данных особенностей имеет статический характер и может быть учтено данными калибровки на этапе предварительной обработки изображений. В процессе калибровки устраняются искажения, дисторсия. Для стереометодов дополнительно осуществляется ректификация изображений, с размещением общих точек изображений на одной эпиполярной линии. В данной работе вопросы, связанные с калибровочными настройками и методами ректификации изображений, не рассматриваются.

Методы и алгоритмы вычисления сопоставлений. В настоящее время известно много алгоритмов и подходов к получению дальностей по паре изображений. В зависимости от оптимизационного алгоритма, выбирающего локальный минимум на невыпуклой целевой функции, различают локальные и глобальные алгоритмы [2]. Глобальные методы формулируют проблему в терминах функции энергии, которую необходимо минимизировать, используя такие известные подходы как методы разреза графа, распространения доверия и динамического программирования. Для решения задачи поиска глобального оптимума в качестве первоначальной (грубой) карты расстояний, как правило используются локальные методы. Тем не менее, сами локальные методы могут выступать в качестве самостоятельного средства формирования карты расстоя-

ний. Для глобальных методов характерна зависимость диспаритета текущего пикселя изображения от диспаритетов всех других пикселей.

Преимущества глобальных алгоритмов перед локальными заключаются в том, что они позволяют получать более точные дальнометрические данные, по сравнению с локальными алгоритмами. При этом локальные алгоритмы обладают меньшей вычислительной ресурсоемкостью [3].

Процесс сопоставления для локальных и глобальных методов возможно в общем виде разделить на следующие основные этапы: подсчет стоимости соответствий, аккумулярование полученных стоимостей, расчет и оптимизация карты диспаратностей, улучшение карты диспаратностей.

По степени учета точек изображения при вычислении карты диспаратитетов различают плотные и разреженные алгоритмы. Особенностью разреженных методов является вычисление соответствий только по выделенным особенностям изображений, например некоторым характерным точкам или выделенным сегментам. Плотные алгоритмы, как правило, работают со всеми пикселями изображения.

Ввиду того, что к получаемой карте дальностей для решаемой задачи не предъявляются требования быстродействия, но высоки требования точности трехмерной реконструкции, то имеется интерес только к глобальным алгоритмам.

Марковские случайные поля. Общим у большинства глобальных алгоритмов является то, что они построены на базе марковских случайных полей (*MRF*). Основная идея данной модели заключается в зависимости расхождений в точке от расхождений только в соседних с ней точках. Способы минимизации энергии будут указаны ниже. Прототипом марковских случайных полей является модель намагничивания материала Изинга. Марковские случайные поля обобщают эту модель, при этом используется вероятностный подход к обработке изображений [4]. Основой *MRF* формально является байесовский метод.

MRF является графической моделью совместного вероятностного распределения. В отличие от байесовских сетей доверия, *MRF* представляет собой ненаправленный граф $G = (N, \xi)$, в котором узлы $v \in N$ являются случайными переменными, а $(u, v) \in \xi$ определяет связь между ребра узлов. Узел v зависит только от соседнего узла. Это определяется локальным свойством Маркова и выражается в условной вероятности, что распределение X_v определяется локальным условным распределением $P(X_v | X_N) = P(X_v | X_{N_v})$.

В теореме Хаммерсли-Клиффорда доказывается, что марковское поле является таковым, только если совместная вероятность является распределением Гиббса.

$$P(X) = Z^{-1} \prod_{c \in C} \phi_c(x_c) \quad (9)$$

где конечный результат связан с максимальными кликами на графе. Кликой неориентированного графа является подмножество узлов $C \subseteq V$, в которых любые два узла соединены ребром. Z является нормирующим множителем. $\phi_c(x_c)$ представляет собою потенциалы поля и записываются как

$$\phi_c(x_c) = e^{T^{-1}V_c(x_c)} \quad (10)$$

С учетом может быть записано

$$P(X) = Z^{-1} \times e^{T^{-1}U(X)} \quad (11)$$

MRF, применительно к изображениям, представляется в виде решетки, вершинами которого являются пиксели, либо ключевые точки (например сегменты), ребрами связи между ними, а размер клики не превышает двух.

Функции минимизации энергии и способы оптимизации MRF для изображений. Для изображений, где максимальный размер клики не превышает двух, возможно переписать в виде

$$P(X) = Z^{-1} \prod_{(x_i, x_j) \in E} \psi_{ij}(x_i, x_j) \quad (12)$$

Использование марковских полей позволяет максимизировать апостериорную вероятность

$$D = \operatorname{argmax}_D P(D / I_{left} I_{right}) \quad (13)$$

Использование прямых методов затруднено в связи со слишком большим объемом вычислений. При размере картинки $M \times N$ и областью интереса диспаратетов в пределах от d_{\min} до d_{\max} требуется $(2d_{\max})^{NM}$ операций. Данная задача является *NP*-полной задачей. Среди быстрых способов минимизации энергии известны динамическое программирование, метод распространения доверия (*belief propagation*), нахождение минимального разреза графа и *nonlinear diffusion*. Метод динамического программирования обрабатывает строки изображения независимо. Положительной стороной этого является его высокое быстродействие, а недостатком независимой обработки строк является появление эффекта гребенки (*streaky disparity*). Метод распространения доверия может не сойтись, но может быть вычислительно эффективным. Метод минимального разреза графов может давать точные результаты, но не эффективен с вычислительной точки зрения. Поэтому наиболее распространенным алгоритмом минимизации энергии в методе марковских случайных полей является метод распространения доверия (*belief propagation*). Этот алгоритм является итерационным и построен на базе передачи сообщений соседних пикселей друг другу и минимизации функционала энергии на заданной карте смещений (диспаратетов).

$$E(X, Y) = \sum_i \operatorname{Data}(y_i, x_i) + \sum_{j \in I} \operatorname{Smooth}(x_i, x_j) \quad (14)$$

Этот функционал энергии соответствует степени корректного совмещения для каждого из участков двух изображений. Иногда в качестве третьего компонента выступает штраф за перекрытие (*occlusion*). Функция *Data* вычисляется для каждого элемента изображения с учетом заданного предела смещений (*Labels или Disparities*) в области окна заданного размера и отражает степень соответствия элемента изображения определенному классу

$$E_{data} = \sum_{dx} \sum_{dy} \operatorname{Data}(y_{i+dy}, x_{i+dx} - \text{label}) \quad (15)$$

Функция *Smooth* задает штраф за не гладкость между соседними значениями диспаратетов (*labels*). Она показывает степень зависимости классов соседних элементов изображения. Существует много видов функции штрафа, наиболее распространена модель Поттса

$$\text{Smooth}(x_i, x_j) = 1 - \delta(x_i, x_j) \quad (16)$$

При использовании ВР требуется обеспечение большого количества итераций, для лучшей сходимости и высокого качества карты расстояний.

Таким образом, наличие трехмерной карты глубины снимает проблему многоаккурности представления объектов для обучения и последующего распознавания на плоских изображениях. Выше были показаны методы получения и оптимизации карты глубины. Исходными данными для них могут быть стереоизображения или ряд изображений из видео потока одной камеры. Полученные в лабораторных условиях трехмерные модели с наложенной текстурой могут использоваться для обучения и последующего распознавания объектов данного класса на плоских изображениях.

Список литературы

1. Bobick A. F., Intille S. S., *Large occlusion stereo*, *Journal of Computer Vision*, Volume 33, pp. 181–200, 1999.
2. Szeliski R., *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Springer, 2010.
3. <http://vision.middlebury.edu/stereo/eval/>
4. Geman S., Geman D., *Stochastic relaxation, gibbs distributions, and the bayesian restoration of images*, *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *IEEE Transactions*, 721-741, 1984.
5. Хорн Б. К. П. *Зрение роботов*. - Мур, 1989, 488 с
6. T. Kanade, P. W. Rander, and P. J. Narayanan. *Virtualized reality: constructing virtual worlds from real scenes*. *IEEE MultiMedia Magazine*, 1 (1):34–47, 1997.
7. Rostam A., Haidi I., *Literature Survey on Stereo Vision Disparity Map Algorithms*, *Journal of Sensors*, Volume 2016 (2016), Article ID 8742920, 23p.

УДК 004.92

ББК 30

АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ СТОХАСТИЧЕСКИ НАНЕСЕННЫХ МЕТОК

© Л.С. Беккель, *Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Калуга, Россия)*

© В.Д. Шкилев, *Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Калуга, Россия)*

ANALYSIS AND IMAGE PROCESSING STOCHASTICALLY APPLIED TAG

© L.S. Beckel, *Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University
(Kaluga, Russia)*

© V.D. Schilev, *Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University
(Kaluga, Russia)*

Статья посвящена описанию принципов работы программного продукта для обработки изображений меток. Метки наносятся на бумажных документах электроразрядным методом с целью защиты их от фальсификации. Предложенные алгоритмы позволяют получить высокое качество изображений и исключить возможность неточного распознавания информации.

Ключевые слова: стохастически нанесенная метка, бинаризация, конверсия.

The article is devoted to description of operation principles of the software product for imaging tags. Tags are applied to the paper-discharge method with the purpose of protection them from falsifica-

tion. The proposed algorithms allow to obtain high-quality images and eliminate the possibility of inaccurate recognition of information.

Key words: the put stochastic tag, binarization, conversion.

E-mail: milla2606@rambler.ru.

В статье приводится описание функций программного продукта, предназначенного для анализа и обработки изображений меток, полученных электроразрядным способом на бумажных документах с целью защиты их от фальсификации [1]. Программа написана в среде разработки *Microsoft Visual Studio* на языке программирования *C#*.

Основная сложность технологии применения стохастически нанесенных меток заключается в том, что метка должна надежно и повторяемо считываться. Изображение полученной метки (рис.1,а) требует дальнейшей обработки. Информация должна быть считана, подвергнута обработке и закодирована.

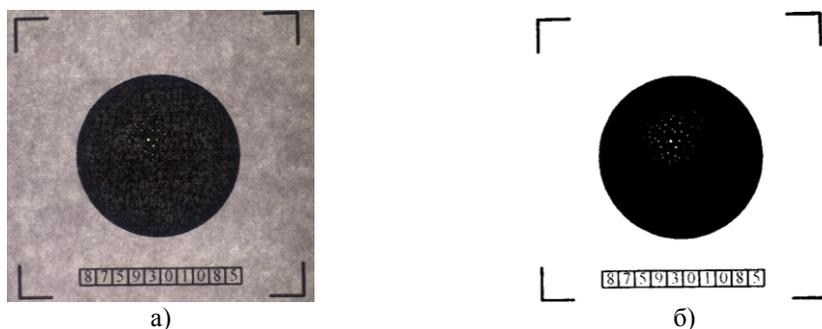


Рисунок 1 – Метка, полученная стохастическим электроразрядным способом – а) и результат бинаризации изображения – б)

При обработке изображений решаются задачи, в которых входные и выходные данные являются изображениями. Например, передача изображения с устранением шумов и сжатием данных, переход от одного вида изображения к другому (от цветного к черно-белому) и т.д.

Для распознавания информации и отсеивания пятен, которые могут быть восприняты за отверстия метки, к считыванию применяем попиксельный подход. Возможность такой обработки объясняется растровым форматом изображения, представленным сеткой пикселей – прямоугольных цветных точек на мониторе, бумаге и других отображающих устройствах.

Перед проведением бинаризации необходимо полученное цветное изображение метки *RGB* перевести в полутоновое. *RGB* (*Red*, *Green*, *Blue* – красный, зеленый, синий) – аддитивная цветовая модель, в которой каждый дополнительный цвет вносит положительный вклад в формирование финального цвета, описывающая способ синтеза цвета для цветовоспроизведения. Области значений каждой из координат цвета (*r*, *g*, *b*) выражаются в виде одного октета, значения которого обозначаются целыми числами от 0 до 255 включительно, где 0 – минимальная, а 255 – максимальная интенсивность.

Известны различные способы перевода цветного изображения *RGB* в другие системы, в которых возможно отдельно выделить яркость каждого пикселя, что необходимо для полутонового изображения. В разработанной программе предлагается перевод в цветовую модель *YUV*, в которой цвет представлентрема компонен-

тами: яркостную и цветоразностные. Выбор этой модели объясняется тем, что она была разработана для выделения яркостной компоненты изображений.

Для осуществления конверсии из RGB в YUV применяются следующие формулы [2]:

$$\begin{aligned} Y &= 0,299R + 0,587G + 0,114B, \\ U &= -0,14713R - 0,2886G + 0,436B + 128, \\ V &= 0,615R - 0,51499G - 0,10001B + 128. \end{aligned} \quad (1)$$

где величины R , G , B – соответственно интенсивности цветов красного, зеленого и синего, могут принимать значения в диапазоне $[0, 1]$;

Y – яркостная составляющая, содержащая «черно-белое» изображение в оттенках серого. Эта величина также может принимать значения в диапазоне $[0, 1]$;

U и V – цветоразностные составляющие, служащие для восстановления требуемого цвета. Величина U может изменяться в диапазоне $[-0,436, 0,436]$, а V – в диапазоне $[-0,615, 0,615]$.

В результате попиксельного обхода по вертикали и горизонтали отсекается все, находящееся за пределами ограничителей. Цифровой код, расположенный под меткой, служит для ее правильной ориентации. Попиксельным обходом по одной координате определяется местонахождение мишени. В результате получаем два изображения – мишени и кода.

Дальнейшая обработка мишени требует проведения бинаризации, чтобы четко разграничить светлые и черные области. Бинаризация – операция порогового разделения, когда исходное полутоновое изображение, имеющее некое количество уровней яркости, преобразуется в черно-белое изображение, пиксели которого имеют только два значения – 0 и 1.

Из возможных способов пороговой обработки изображения был выбран метод Оцу, обеспечивающий наиболее качественную бинаризацию в нашем конкретном случае работы со стохастически нанесенными метками [3]. Этот метод основан на применении гистограммы распределения значений яркости пикселей растрового изображения. Построение гистограммы производится по значениям

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad (2)$$

где N – общее количество пикселей на изображении, n_i – число пикселей с уровнем яркости i . Диапазон яркостей делится на два класса с помощью порогового значения уровня яркости k – целое значение от 0 до L . Каждому классу соответствуют относительные частоты ω_0 , ω_1 :

$$\omega_0(k) = \sum_{i=1}^k p_i, \quad \omega_1(k) = \sum_{i=k+1}^L p_i = 1 - \omega_0(k). \quad (3)$$

Средние уровни для каждого из двух классов изображения определяют по следующим формулам:

$$\mu_0(k) = \sum_{i=1}^k \frac{ip_i}{\omega_0}, \quad \mu_1(k) = \sum_{i=k+1}^L \frac{ip_i}{\omega_1}. \quad (4)$$

Далее вычисляется максимальное значение оценки качества разделения изображения на две части:

$$\eta(k) = \max_{1 \leq k \leq L-1} \left(\frac{\sigma_{кл}^2(k)}{\sigma_{общ}^2} \right), \quad (5)$$

где $(\sigma_{кл})^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2$ – межклассовая дисперсия, $(\sigma_{общ})^2$ – общая дисперсия для всего изображения целиком.

В результате было получено бинарное изображение, в котором для отверстий метки установлен один цвет, для фона мишени – другой цвет (рис. 1,б).

После получения четких контуров черных и светлых областей изображения можно перейти к кодированию информации метки. Для этого авторы предложили использовать *QR*-код (*quickresponse* – быстрый отклик). Это матричный код, выполненный в виде двумерного штрих-кода и имеющий статус опубликованного стандарта ISO/IEC 16022:2006 [4].

Применение *QR*-кода дает возможность кодировки значительно большего объема цифровой и текстовой информации по сравнению с другими матричными кодами. Способность хранить большой объем информации, характеризующий множество стохастически нанесенных отверстий мишени, позволяет отказаться от использования баз данных, предназначенных для хранения эталонной информации, содержащейся в получаемых метках. Кроме того, *QR*-код характеризуется высокой скоростью распознавания сканирующим оборудованием, определяющим код как двумерное изображение.

В качестве кодируемой информации для записи в *QR*-код выбраны координаты расположения центров масс и площадей отверстий в порядке их попиксельного обхода программой.

В разработанной программе для отверстий координаты расположения центров масс рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} x_c &= (x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n \\ y_c &= (y_1 + y_2 + \dots + y_n)/n, \end{aligned} \quad (6)$$

где n – число пикселей в отверстиях метки.

Также в *QR*-код записывается цифровой код метки.

При выборе вида кодировки руководствовались тем, что для бумажных (в том числе денежных) документов в качестве исходной информации может служить буквенное обозначение номера серии. Поэтому из возможных видов кодировок *QR*-кодов была выбрана алфавитно-цифровая кодировка, требующая 11 бит информации на 2 символа. С учетом уровня коррекции в коде записывается полезная и служебная информация. Таким образом, получаем запись информации, выполненную в следующей последовательности: способ кодирования – количество данных – данные.

В результате проведенного исследования была получена и закодирована информация, содержащаяся в изображении метки. Можно сделать вывод о том, что разработанные алгоритмы обработки изображений позволяют исключить неточности распознавания метки и обеспечат надежную идентификацию бумажных документов, что в настоящее время является актуальной задачей.

Список литературы

1. Шкилев В.Д., Мартынюк Н.П., Адамчук А.Н. Научное открытие в области интерференции искрового разряда №421 // Научные открытия 2011. Сборник кратких описаний научных открытий. – М.: РАЕН, 2012. – С. 46-47.

2. Poynton C. *Digital Video and HDTV. Chapter 24/ C. Poynton. – Morgan Kaufmann, 2003. – Pp. 291–292.*
3. Ping-Sung Liao, Tse-Sheng Chen, Pau-Choo Chung. *A Fast Algorithm for Multi-level Thresholding // J. Inf. Sci. Eng. – 2001. Vol. 17 (5). – Pp. 713–727.*
4. Храпцов Е.А. *Невидимые QRкоды против пиратства и фальшивомонетчиков // ComputerBild. – М., 2012. - №24. – С.12 – 17.*

УДК 681.518.22 + 681.518.5

ББК 30

**АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ИЗДЕЛИЙ, НАХОДЯЩИХСЯ НА КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЕ**

© **В.В. Белов**, *Рязанский государственный радиотехнический университет,
(г. Рязань, Россия)*

© **А.К. Лопатин**, *Государственный социально-гуманитарный университет
(г. Коломна, Россия)*

**THE ESTIMATING ALGORITHM OF THE GEOMETRIC
PARAMETERS OF THE PRODUCTS, LOCATED
ON THE CONVEYOR BELT**

© **V.V. Belov**, *Ryazan State Radio Engineering University (Ryazan, Russia)*

© **A.K. Lopatin**, *State University of Humanities and Social Studies (Kolomna, Russia)*

В статье рассмотрена задача автоматической оценки геометрических параметров изделий, находящихся на конвейерной ленте. Задача решается для конкретного набора производимых изделий. Осуществлен выбор оптимального по критерию минимума трудоемкости алгоритма выделения границ. Проведен сравнительный анализ быстродействия альтернативных алгоритмов. Приведен вектор и описан алгоритм реализации оптического измерения инвариантных геометрических параметров контролируемых изделий.

Ключевые слова: измерение геометрических параметров, оптический контроль, сглаживающий фильтр, оператор Собела, оператор Робертса, выделение границ.

The article considers the problem of automatic evaluation of geometric parameters of products located on the conveyor belt. The problem is solved for a specific set of products. Implemented the selection of the optimal by the criterion of minimum of the complexity of the algorithm of allocation of borders. Had held a comparative analysis of the performance of alternative algorithms. Specified vector and an algorithm implementing the optical measurement of the invariant geometric parameters of the controlled items.

Key words: measurement of geometrical parameters, optical control, smoothing filter, Sobel operator, Roberts operator, edge detection.

E-mail: vvbelloff@yandex.ru, ak_lopatin@mail.ru

В рамках исследований по вопросам оптимизации процесса контроля качества изготовления деталей конкретной номенклатуры Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (АО «ВНИКТИ») поставил практическую задачу разработки методики и соответствующего программно-аппаратного комплекса автоматического измерения габаритов изделий, находящихся на конвейерной ленте в конкретных условиях наблюдения с конкретными требованиями к погрешности результатов измерения. Учет конкретики форм деталей (из заданного множества), условий наблюдения деталей, требований к погрешности измерений должен обеспечить минимизацию материальных затрат на организацию измерений при выполнении требований к погрешности получаемых результатов.

Специфические условия производства, определяющие конкретику алгоритма решения поставленной задачи, состоят в следующем:

- 1) для контроля качества изделий желательна применение одной фотокамеры;
- 2) положение камеры относительно объекта фиксировано;
- 3) объекты на конвейере занимают одинаковое положение (в пределах допуска);
- 4) перед началом измерений кадр калибруется – находится пропорциональная зависимость между пикселями и миллиметрами;
- 5) производство является поточным, установка измеряет геометрические размеры одних и тех же деталей;
- 6) контролируемые размеры допускают погрешность измерения в 2-3 мм;
- 7) не допускаются трещины, волосовины, рванины, раковины, вмятины, насечки, расслоения, закаты, следы разъедания солями, электроожоги;
- 8) допускаются следы от инструмента в местах гибки уменьшением диаметра прутка на 0,5 мм сверх допуска на диаметр прутка;
- 9) на торцевых поверхностях усов не допускается наличие трещин и расслоений;
- 10) допускаемая величина заусенцев в местах отрезки не более 0,5мм.

Вопросы, связанные с автоматизацией контроля качества поверхности изделий – выявлением трещин, волосовин, рванин, раковин, вмятин и так далее, – оставлены на вторую очередь. Немедленному решению подлежит задача контроля габаритных размеров производимых изделий.

1. Подход к созданию методики решения задачи автоматизации контроля габаритных размеров изделий

Прежде всего, был выполнен анализ существующих технических средств, позволяющих решить поставленную задачу. После выявления существенной функциональной избыточности контрольно-измерительных приборов, используемых в настоящее время в аналогичных приложениях, и неоправданности затрат на их приобретение и внедрение, было принято решение о создании новой методики и соответствующей программной системы, адекватной требованиям конкретного производства, и поэтому существенно более дешевой.

На основе опыта решения задач теории обработки изображений и компьютерного зрения, связанных с поиском и выделением объектов, определен необходимый набор методов и алгоритмов. Затем, с целью минимизации материальных затрат на реализацию процесса контроля и создания наименее трудоемкого алгоритма путем «последовательного движения от простого к сложному» подобран метод и создан реализующий его алгоритм, обеспечивающий предъявляемые требования к погрешности измерений.

В плане минимизации затрат на оборудование решался вопрос о необходимом количестве фотокамер и типе оптического датчика, используемого для запуска фотокамеры.

В плане минимизации трудоемкости реализуемых алгоритмов создавались и проверялись на обеспечиваемую точность измерений различные (в порядке нарастания алгоритмической сложности) методы выявления границ объектов на изображениях, представленных в электронном виде.

2. Существующие системы электронного контроля изделий

В настоящее время в промышленности используется несколько различных методов контроля. Непосредственно в процессе производства используется

ручной контроль, контактные измерительные системы для станков с числовым программным управлением и системы оптической инспекции, применяемые для контроля изделий с печатными платами на конвейерах.

Среди известных систем автоматической оптической инспекции наиболее эффективными являются *YSi-V (YAMAHA)*, *QX 500 (CYBEROPTICS)*, *АОИ S3088 flex*. Указанные системы позволяют осуществлять высокоскоростную двумерную инспекцию с высоким разрешением изображений, трехмерную инспекцию высоты и наклона компонентов, а также инспекцию под углом при помощи камеры углового обзора. Они отличаются высокой степенью надежности выявления различного рода дефектов в контролируемых изделиях при исключительно высокой скорости инспекции ($50 \text{ см}^2/\text{сек}$).

Предполагается, что в скором времени получит широкое применение микроскоп *HDS-5800* производства южнокорейской компании *Huvitz*, обеспечивающий, по заверениям разработчиков, исключительную производительность, качество и удобство, позволяя проводить полный спектр измерений по трем координатам, осуществлять построение трехмерных моделей в высоком разрешении как для научно-исследовательских, так и производственных задач.

Вышеперечисленные системы и их аналоги обладают характеристиками, необходимыми в областях с высокими требованиями к точности измерений и надежности распознавания дефектов. Это такие области как производство микроэлектронных приборов и их компонентов, разработка и производство микроэлектромеханических систем, полупроводниковое производство и металлография. В производстве изделий железнодорожного назначения, являющегося предметом нашего рассмотрения, требования к точности не являются критическими (контролируемые размеры допускают погрешность измерения в 2-3 мм), однако весьма значимыми являются время обработки (измерения) одной детали и стоимость соответствующего контролирующего программно-аппаратного комплекса. При этом функциональность существующих систем оптической инспекции оказывается весьма избыточной, а иногда и вовсе не применимой. Не адекватны потребностям и затраты на приобретение и владение высокоточными контролирующими системами.

Указанные факты обусловили необходимость поиска алгоритмов анализа изображений для решения задачи автоматического контроля качества изделий, адекватных конкретным условиям наблюдения и конкретными требованиями к точности и надежности формируемых оценок.

3. Уточнение параметров, подлежащих контролю

В процессе анализа задачи выяснялся состав размеров изделий, подлежащих контролю. Выяснилось, что технология производства и режим использования контролируемых изделий таковы, что достаточно измерения только габаритных размеров в той ориентации, в которой изделия находятся на конвейере. Вместе с тем, было высказано пожелание выполнять «хотя бы грубую» проверку формы контуров изделий, наблюдаемых со стороны фотокамеры.

Указанные факты обусловили тот факт, что было принято решение осуществлять измерение трех параметров контролируемых изделий:

- 1) периметр контура изделия;
- 2) площадь поверхности, ограниченной контуром изделия;
- 3) значение коэффициента округлости [8], вычисляемого по формуле:

$$R_c = 4\pi \frac{S}{P^2}, \quad (1)$$

где S , P – соответственно площадь и периметр плоской фигуры (в нашем конкретном случае – фигуры, образованной контуром контролируемого изделия).

Коэффициент округлости плоской фигуры, вычисляемый по указанной формуле, имеет смысл квадрата отношения двух периметров: $R_c = \left(\frac{P_c}{P}\right)^2$, где

P_c – длина окружности круга, имеющего площадь, равную площади фигуры; P – периметр рассматриваемой фигуры. Очевиден факт: в любом случае $P_c \leq P$, поэтому $0 \leq R_c \leq 1$. Единичное значение соответствует случаю, когда рассматриваемая фигура является кругом. Нулевое значение – это предел коэффициента округлости для прямоугольника со сторонами a и λa при бесконечном увеличении коэффициента λ :

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{\pi}{\lambda \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right)^2} = 0. \quad (2)$$

4. Составляющие методики решения рассматриваемой задачи

Исходя из имеющегося опыта решения задач распознавания объектов и выявления дефектов их формы [1- 4,8] используем градиентные изображения для реализации процедуры измерения контролируемых размеров изделий на конвейерной ленте.

В теории цифровой обработки изображений сложилась традиция под термином «градиент» подразумевать разностный аналог классического понятия градиента. При этом компоненты градиента, представляющие собой частные производные по аргументам X и Y , заменяются линейными разностными формами с нулевыми суммами весовых коэффициентов, аргументами которых являются яркости пикселей, образующих прямоугольную (практически всегда квадратную) окрестность того пикселя, в котором вычисляется значение градиента.

Поскольку модуль разностного градиента сохраняет свойства математического градиента, то он позволяет получить изображение, состоящее из контуров геометрических элементов исходного изображения. Наличие одних контуров упрощает выделение дефектов в форме исследуемых изделий. Упрощается и процесс выявления границ изделия, необходимый для измерения его габаритов. Кроме этого, указанное свойство градиента естественным образом обуславливает тот факт, что каждая линия градиентного изображения (линия каждого контура) оказывается двойной: при вычислении градиента локально максимальные значения оказываются в точках и с одной, и с другой стороны границы резкого изменения яркости свечения элементов изображения.

Наиболее известными и широко используемыми являются следующие градиентные операторы (перечисление в порядке появления) [3,5,7,8]: перекрестный Робертса, Собела, Превита. Заметим, что в [8] используется нетрадиционная для настоящего времени ориентация координатных осей: ось ординат направлена горизонтально – так, что занимает положение оси абсцисс. Потому

одни и те же формулы компонентов градиента в [8] и альтернативных источниках записываются по-разному.

К сожалению, идеальной формулы для градиента изображения не существует: ни одна из них не обеспечивает идеальное формирование контуров, в том числе и абриса объекта на изображении. Очень часто формируются ложные (шумовые) линии и точки, контуры некоторых областей оказываются прерывистыми. Чтобы уменьшить зашумлённость, градиентное изображение обычно вычисляют по предварительно сглаженному изображению.

Сглаживающая фильтрация, хотя и позволяет улучшить градиентное изображение, не является панацеей: последствия наличия в изображении шумовых компонентов полностью не устраняются. Поэтому используются более сложные алгоритмы, называемые операторами обнаружения или детекторами границ. Наиболее известны операторы обнаружения границ Кенни, Айверсона, Ротуэлла, Щарра, Кирша, Уоллеса. При этом операторы градиента Робертса, Собела и Превита можно рассматривать как простейшие обнаружители границ.

Сглаживающая фильтрация, вычисление градиента и обнаружение границ в своей совокупности формируют изображение, по которому далее можно осуществлять сегментацию – выделение поверхностей (сегментов, частей), образующих объект, представленный на изображении [10]. По результату сегментации возможна оценка параметров, в том числе, размеров изображенного объекта [11].

Сглаживающая фильтрация может быть реализована многочисленными способами. Наиболее простыми и, как показывает опыт, достаточно эффективными являются фильтры, реализующие сверточные методы. Чаще всего используются, так называемые, медианный и гауссов фильтры.

Медианный фильтр является наиболее простым с вычислительной точки зрения. Его весовая функция – константа $1/r^2$. Если представить яркость пикселя исходного изображения в виде функции координат $f(x, y)$, то значение выхода медианного фильтра f^* в точке (x_0, y_0) представляется средним арифметическим значением:

$$f^*(x_0, y_0) = \frac{1}{r^2} \sum_{x=x_0-r}^{x_0+r} \sum_{y=y_0-r}^{y_0+r} f(x, y), \quad (3)$$

где r – радиус весовой функции.

Выход гауссова фильтра описывается формулой: $f^*(x_0, y_0) = \frac{1}{2\pi r^2} \sum_{x=x_0-r}^{x_0+r} \sum_{y=y_0-r}^{y_0+r} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} f(x, y)$, где σ – параметры весовой функции.

При этом, в случае обработки цветного изображения производится фильтрация в каждом цветовом канале [8].

Перекрёстный оператор Робертса [5,8] (альтернативное название – фильтр Робертса) порождает выходное изображение по правилу:

$$t_1 = |z_1 - z_4|, t_2 = |z_2 - z_3|, z_1^* = \sqrt{t_1^2 + t_2^2}, \quad (4)$$

где t_1, t_2 – вспомогательные переменные; z_i ($i = \overline{1, 4}$) – значения яркостей исходного изображения в точках окрестности рассматриваемой точки с координатами

$(x, y): z_1 = f(x, y), z_2 = f(x+1, y), z_3 = f(x, y+1), z_4 = f(x+1, y+1)$;

Z_1^* – результирующее (выходное) значение яркости пикселя в точке (x, y) ; где $f(x, y)$ – функция отображения координат пикселя в значение яркости этого пикселя.

Для граничных пикселей, – расположенных на самой нижней и самой правой линиях изображения, с отсутствующими соседними пикселями значения яркостей в отсутствующих точках полагаются равными нулю.

Оператор Собела [6,8] работает с областью, имеющей центр симметрии. Компоненты градиента, его модуль и направление вычисляются по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial f}{\partial x} = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3), \\ \frac{\partial f}{\partial y} = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7), \\ M(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}, \\ \alpha = \arctg \left(\frac{\frac{\partial f}{\partial y}}{\frac{\partial f}{\partial x}} \right), \end{array} \right. \quad (5)$$

где $\{z_k | k = \overline{1;9}, k \neq 5\}$ – значения яркостей пикселей окрестности единичного радиуса центрального пикселя с координатами (x, y) , в котором вычисляется градиент, т. е. $z_k = f(x+1-(k-1)div3, y+1-(k-1)mod3)$, где идентификаторы div и mod символизируют соответственно операции деление нацело и вычисление остатка от деления первого операнда на второй.

Оператор Кенни состоит из следующих шагов:

1. Сгладить исходное изображение гауссовым фильтром.
2. Сформировать изображение модуля и направления градиента, используя оператор Собела.
3. Применить подавление немаксимальных точек к изображению модуля градиента по правилу:

а) найти направление, ближайшее к $\alpha(x, y)$;

б) если значение $M(x, y)$ меньше, чем хотя бы у одного из соседей в найденном направлении, то подавляем значение яркости в данной точке нулём, в противном случае значение модуля градиента $M(x, y)$ не меняется.

4. Выполнить преобразование с двойным порогом и провести анализ связности для обнаружения и связывание контуров [2,8].

5. Методика контроля метрических параметров изделий в заявленных условиях

Основные этапы контроля. Основные этапы контроля метрических параметров изделий на конвейерной ленте таковы [9, стр. 118-120]:

1. Получение изображения изделия в электронном виде.
2. Калибровка изображения – выяснение количества пикселей, соответствующего одному миллиметру реального пространства.
3. Сглаживающая фильтрация изображения.

4. Обнаружение границ (вычисление градиентного изображения).
5. Сегментация – выделение отдельных поверхностей в изображении.
6. Вычисление длин контуров выделенных поверхностей.
7. Вычисление площадей выделенных поверхностей.
8. Вычисление коэффициентов округлости выделенных поверхностей.
9. Регистрация результатов в виде вектора трехэлементных векторов вычисленных параметров, элементами которых являются: длины контуров, площади поверхностей, коэффициенты округлости.
10. Определение степени различия параметров эталона и образца.
11. Фиксация и отображение результатов сравнения, указание о возможности коррекции детали, в случае если дефект является устранимым.

Выделение границ (вычисление градиентного изображения). С целью получения наименее трудоемкого алгоритма, адекватного условиям наблюдения и требованиям к точности измерения контролируемых параметров изделий, для выделения границ последовательно использовались несколько алгоритмов.

Первоначально использовались операторы градиента Робертса и Собела. Затем указанные операторы комбинировались с медианным и гауссовым фильтрами. Далее использовался детектор границ Кенни, который в соответствии с рекомендацией автора [8] оператора комбинировался только с гауссовым фильтром. Градиент при реализации детектора Кенни вычислялся оператором Собела.

Таким образом, проверялась адекватность предъявляемым требованиям и оценивалась трудоемкость семи алгоритмов: R , S , MR , MS , GR , GS , GC , где буквы M и G символизируют соответственно медианный и гауссов фильтры, а буквы R , S и C символизируют соответственно операторы Робертса, Собела и Кенни.

Результаты применения оператора Робертса для вычисления градиентного изображения изделия «Клемма АРС-04.04.001-01» приведены на рис. 1.

Исходное изображение представлено в градациях серого (рисунок 1,а) и результаты фильтрации с выделенными областями, содержащими дефекты. Рисунок 1,б - фрагмент контура, полученного с помощью оператора Робертса без фильтрации; - в) фрагмент контура, полученного с помощью оператора Робертса с предварительной фильтрацией медианным фильтром с радиусом 2. На рисунках 1,б,в прямоугольниками выделены зоны ошибок.

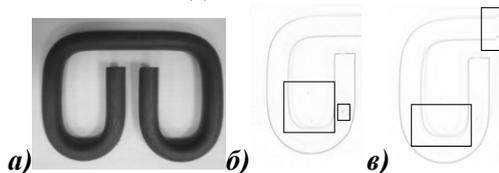


Рисунок 1 – Результаты применения оператора Робертса

Как видно из рисунка, оператор Робертса не позволяет избавиться от существенных шумовых компонент, включая разрывы контура, даже с использованием предварительной сглаживающей фильтрации. Применение гауссовой фильтрации вместо медианного фильтра не приводит к сколько-нибудь существенному улучшению получаемого градиентного изображения.

Результаты применения оператора Собела для вычисления градиентного изображения того же изделия приведены на рисунке 2. Как видно из рисунка,

самостоятельное применение оператора Собела аналогично использованию оператора Робертса – оно не позволяет избавиться от существенных шумовых компонент.

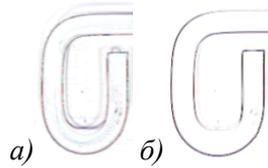


Рисунок 2 – Результаты применения оператора Собела

В тоже время, использование предварительной сглаживающей фильтрации позволяет заметно улучшить получаемое градиентное изображение. Применение гауссовой фильтрации вместо медианного фильтра не приводит к сколь-нибудь существенным улучшениям получаемого результата.

Применение оператора Кенни [2,7,8] позволяет получить градиентное изображение высокого качества. Однако, это улучшение, получаемое за счет существенного усложнения алгоритма выделения границ, оказалось не востребованным последующими алгоритмами сегментации.

Сегментация градиентного изображения и оценка контролируемых параметров показали, что для обеспечения требуемой точности оценки периметров контуров изделий заданной номенклатуры, площадей, ограниченных контурами, и коэффициентов округлости достаточно градиентного изображения, получаемого с помощью оператора Собела в сочетании с предварительной фильтрацией сглаживающим медианным фильтром.

6. Тестирование трудоемкости алгоритмов обнаружения границ

Была произведена оценка трудоемкости исследуемых алгоритмов. В качестве меры трудоемкости использовалось время реализации, выражаемое в количестве тактов центрального процессора. На рисунке 3 представлены результаты исследования трех алгоритмов: 1) оператора Собела; 2) оператора Собела в сочетании с предварительной фильтрацией сглаживающим медианным фильтром; 3) оператора Робертса в сочетании с предварительной фильтрацией сглаживающим медианным фильтром.

Анализ диаграммы даёт возможность заключить, что использование сглаживающего медианного фильтра оказывает существенное влияние на время обработки изображения: количество тактов процессора при использовании сглаживания увеличивается на $75000 \cdot 10^9$. Для оператора Собела время обработки увеличивается в 3,5 раза.

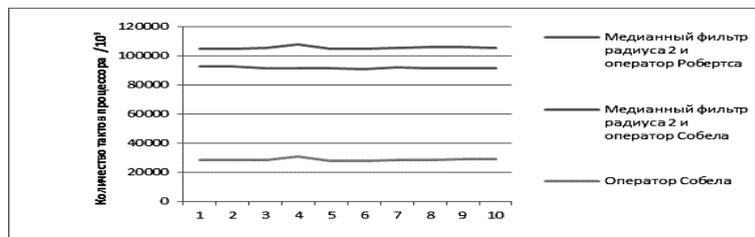


Рисунок 3 – Сравнение времени выделения границ различными методами

В случае отказа от использования предварительного сглаживания и использования одного оператора Собела требуется дополнительное усложнение

алгоритма сегментации изображения, превосходящее по сложности реализацию сглаживающего фильтра.

Заключение

Для конкретных условий наблюдения и фотографирования сформулирован алгоритм автоматического оценивания геометрических параметров изделий заданной номенклатуры, находящихся на конвейерной ленте.

Определен оптимальный алгоритм выделения границ в изображении изделия, предполагающий последовательное использование медианного фильтра и оператора Собела. Выбор алгоритма выделения границ осуществлен по критерию минимума трудоемкости в ограничениях на требуемую точность оценивания контролируемых параметров – периметров контуров; площадей, ограниченных контурами; коэффициентов округлости. Метод поиска оптимального алгоритма заключался в многократном решении поставленной задачи различными алгоритмами в порядке нарастания их трудоемкости и прекращении решений при достижении требуемой точности оценивания всех параметров всех деталей из заданного множества.

Существенным достоинством предлагаемого алгоритма является то, что для его реализации требуются минимальные затраты на оборудование, используемое при измерениях – съемка изделий осуществляется одной камерой.

Список литературы

1. B. Jähne, H. Haussecker, H. Scharf, H. Spies, D. Schmundt, U. Schurr «Study of dynamical processes with tensor-based spatiotemporal image processing techniques», *Proceedings European Conference on Computer Vision*, 1998, pp. 322–336.
2. Canny J., *A Computational Approach To Edge Detection*, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-8, No 6, 1986, pp. 679–698
3. J.M.S. Prewitt, «Object enhancement and extraction in Picture Processing and Psychopictorics», B. Lipkin and A. Rosenfeld, Eds., New York: Academic Press, 1970, pp. 75-149.
4. L.A. Iverson, S.W. Zucker «Logical/Linear Operators for Image Curves», *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-17, No 10 October 1995, pp. 982–996.
5. Lawrence G. Roberts «Machine Perception Of Three-Dimensional Solids» [Электронный ресурс]. Massachusetts Institued of Technology Lincoln Laboratory, 22 May 1963, Reissued May 1965. 2001 URL: <http://www.packet.cc/files/mach-per-3D-solids.html> (дата обращения: 6.05.2016).
6. Sobel I., Feldman G. «A 3x3 Isotropic Gradient Operator for Image Processing» [Электронный ресурс], 2015 URL: https://www.researchgate.net/publication/239398674_An_Isotropic_3_3_Image_Gradient_Operator (дата обращения: 21.07.2016).
7. Tsao, Y.F. and Fu, K.S. «Parallel Thinning Operations for Digital Binary Images», *Proceedings CVPR*, 1981, pp. 150-155.
8. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений. Издание 3–е, исправленное и дополненное* - М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
9. Лопатин А.К. *О распознавании габаритов объектов // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 18-й Международной НТК: Горячая-линия Телеком*, 2015 – 332 с.
10. Сальников И.И. *Методы и алгоритмы сегментации бинарных изображений на основе построения анализа*. - Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 03(19), 2014. – С.29-40.
11. Сальников И.И. *Методы размерной селекции при анализе бинарных изображений*. - Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 03(19), 2014. – С.89-95.

УДК 28.23.15
ББК 30

**МЕТОД СЕГМЕНТАЦИИ ПОЛНОГРАДАЦИОННЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ**

© **В.В. Брызгалин**, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

© **И.И. Сальников**, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

**THE METHOD OF POLYCHROMATIC COUNTRYSIDE
IMAGES SEGMENTATION**

© **V.V. Bryzgalin**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© **I.I. Salnikov**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье рассматривается решение задачи сегментации полноградационных изображений. Эта задача актуальна, так как на сегодняшний день область формирования электронных карт местности активно развивается. В качестве объектов исследования выступают снимки сельской местности с беспилотных летательных аппаратов. Разработанный метод сочетает в себе определение областей фона, выделение края и размерную селекцию.

Ключевые слова: сегментация, полноградационное изображение, локальная область, оператор выделения края Собела, обнаружение границ областей, изображение в оттенках серого, аэрофотосъемка местности, электронная карта местности, градиент яркости, распознавание объектов

The article touches upon the problem of polychromatic images segmentation. It is a very urgent issue, because today the sphere of electronic mapping has rapidly been evolving. Aerial snapshots taking from the countryside are treated as objects of our research. The developed method combines background areas detection, edge detection and dimensions selection.

Key words: segmentation, polychromatic image, local area, Sobel operator for edge detection, areas edge detection, grayscale image, aerial photography, electronic map, brightness gradient, images recognition

Одной из задач обработки и анализа изображений является сегментация, под которой понимают метод цифровой обработки, разделяющий изображение на пространственно-связанные группы пикселей, называемые локальными областями (ЛО) [1,2]. ЛО формируются по определенному критерию связности, например, по выделению на изображении областей с градиентом яркости, имеющим одинаковый знак.

В рамках данной работы рассматривается сегментация полноградационных изображений. Количество возможных градаций яркости S_k для каждого пикселя изображения определяется

$$S_k \in \{0, 1, \dots, 2^n - 1\}, \quad (1)$$

где n - количество бит при кодировании одного пикселя изображения.

К преимуществам полноградационных изображений, в отличие от бинарных, можно отнести возможность определения координат максимумов локальных областей. При этом стоит учесть, что для получения полноградационного изображения необходимо предварительно выполнить преобразование цветного изображения [2,3].

Метод сегментации полноградационных изображений должен реализовывать следующие возможности:

- определение принадлежности пикселей к локальной области;

- определение границ между объектами, между объектом и фоном;
- определение координат максимумов локальных областей;
- адаптивный подбор параметров выделения локальных областей в зависимости от яркостных характеристик изображения.

Для проверки эффективности метода анализируются параметры локальных областей сегментированного изображения. Метод сегментации реализован в программной среде *C++Builder*. В качестве исходного использовано изображение сельской местности, полученного с беспилотного летательного аппарата (рисунок 1). Используется 8-ми битное представление пикселей.



Рисунок 1 – Исходное изображение

Под описанные выше требования подходит метод сегментации, называемый в [4] методом «водораздела» областей. Первоначально определяется граница между ЛО, а затем формируются сами ЛО. Но первоначально необходимо сгладить исходное изображение.

Сглаживание исходного изображения. Одной из задач, решаемых сегментацией, является определение координат максимумов локальных областей. Проанализировав сечение яркости по строке исходного изображения (рисунок 2), делаем вывод, что на тестовом изображении присутствует множество ложных максимумов, которые могут быть ошибочно приняты за объекты. Поэтому перед обработкой изображение сглаживается методом медианной фильтрации с окном 7x7 пикселей [4]. Результаты фильтрации представлены на рисунке 3.

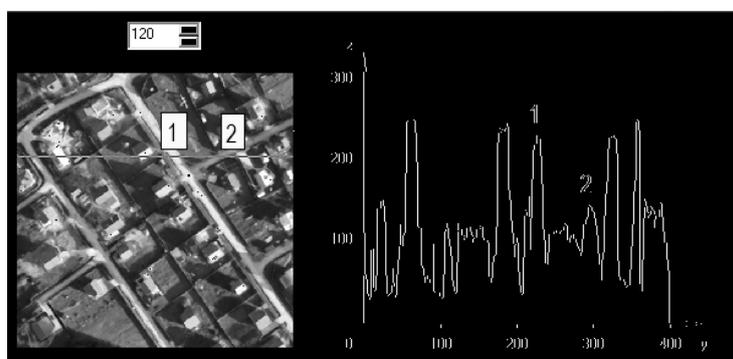


Рисунок 2 – Сечение яркости по строке исходного изображения

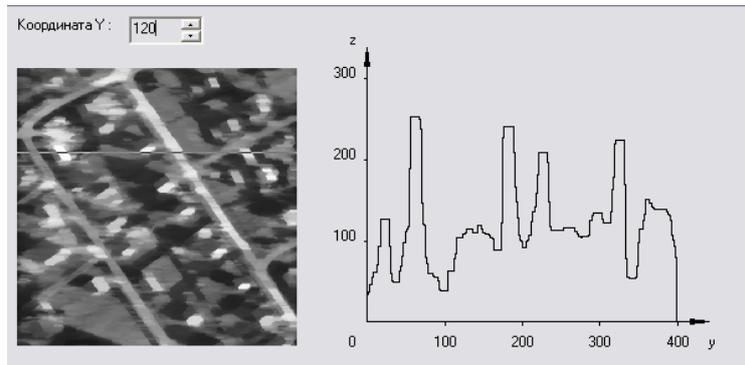


Рисунок 3 – Сечение яркости по строке изображения после сглаживания

Выделение областей фона. На изображениях местности в видимом диапазоне спектра яркость фона, как правило, меньше яркости объектов, поэтому в качестве параметра сегментации задается минимальная яркость полезного сигнала. На данном этапе создается матрица N_s по размерам изображения для хранения номера сегмента каждого пикселя и инициализируется ненулевыми значениями. Для пикселей с координатами (i, j) и яркостью меньше минимальной яркости полезного сигнала $N_s(i, j) = 0$.

$$N_s(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{если } S_k(i, j) < S_{\min, nc} \\ \neq 0, & \text{если } S_k(i, j) \geq S_{\min, nc} \end{cases}$$

$$i \in \{0, 1, \dots, h-1\},$$

$$j \in \{0, 1, \dots, w-1\},$$
(2)

где $S_k(i, j)$ – яркость пикселя с координатами (i, j) , $S_{\min, nc}$ – минимальная яркость полезного сигнала, h – высота изображения, w – ширина изображения.

В данном методе $S_{\min, nc}$ определяется на основе анализа гистограммы распределения яркости изображения. На рисунке 4 представлена гистограмма распределения яркости изображения после сглаживания.

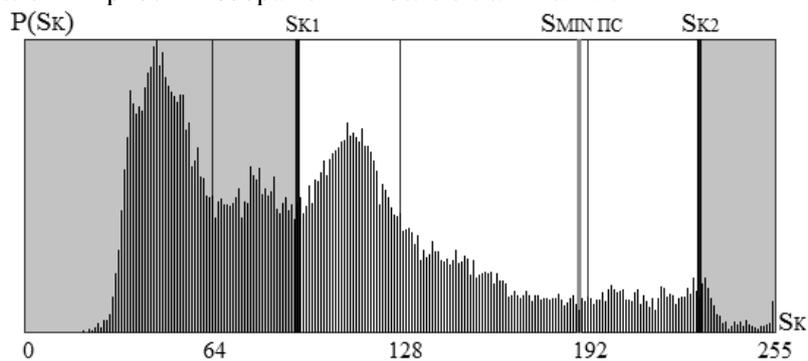


Рисунок 4 – Определение минимальной яркости полезного сигнала

На рисунке 4 S_k – уровень яркости пикселей, $P(S_k)$ – вероятность нахождения на изображении пикселя с яркостью S_k . Левая часть гистограммы с малой яркостью относится к областям фона, а правая – к областям полезного сигнала. Соответственно, наиболее точное значение $S_{\min, nc}$ – это уровень яркости S_k с минимальной вероятностью $P(S_k)$, находящийся в промежутке между яркостью объектов и

фона. В связи с этим необходимо ограничить исследуемую область гистограммы для поиска $S_{min,nc}$. Действительно, минимальное значение $P(S_k)$ в областях гистограммы с яркостью $S_k = \{0 \dots 30\} \cap \{230 \dots 255\}$ может указать на заведомо неверное значение $S_{min,nc}$. Критерии определения $S_{min,nc}$ представляются в виде:

$$\begin{cases} S_{min,nc} \in \{S_{k1} \dots S_{k2}\}, \\ \sum_{S_k=0}^{S_{k1}} P(S_k) = \frac{1}{2}, \\ S_{k2} = S_{max} - S_{gap}, \end{cases} \quad (3)$$

где S_{k1} и S_{k2} – границы поиска $S_{min,nc}$, S_{max} – максимальное значение яркости изображения, S_{gap} – гарантированный интервал яркости объектов.

Гарантированный интервал яркости объектов позволяет вычислить интервал яркости на гистограмме, который не относится к фону. Величина S_{gap} подбирается эмпирически, в рамках данной работы примем её равной 10 % от общего количества уровней яркости S_k , то есть равной 25. Для рассматриваемого изображения $S_{k1} = 93$, $S_{k2} = 230$, $S_{min,nc} = 187$. Результаты выделения областей фона на тестовом изображении приведены на рисунке 5.

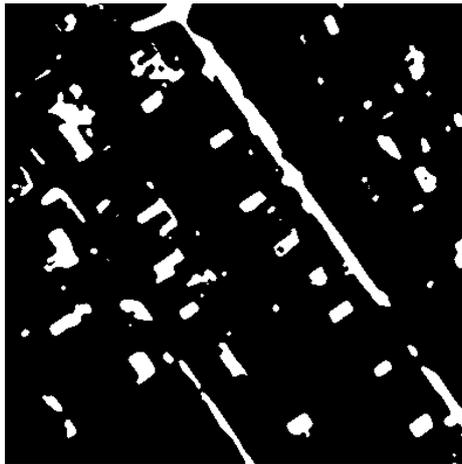


Рисунок 5 – Исходное изображение после выделения областей фона

Определение «водораздела» областей. Под «водоразделом» областей изображения понимают участки пересечения 2-х или более ЛО. Основная задача данного этапа обработки изображения – разделить растр на локальные области. Для решения задачи используются операторы выделения границы. Существует несколько разновидностей операторов выделения границы: Робертса, Собела, Лапласа. В ходе исследования принято решение выбрать оператор Собела в качестве оптимального варианта с точки зрения качества результатов и аппаратных затрат на обработку [1,4,5].

Формируется матрица $S_{кр}$ с размерами, соответствующими матрице S_k . Отличие S_k и $S_{кр}$ в том, что $S_k \in \{0, 1, \dots, 255\}$ для 8-разрядного представления пикселей изображения.

Результаты определения «водораздела» областей на тестовом изображении приведены на рисунке 6,а.

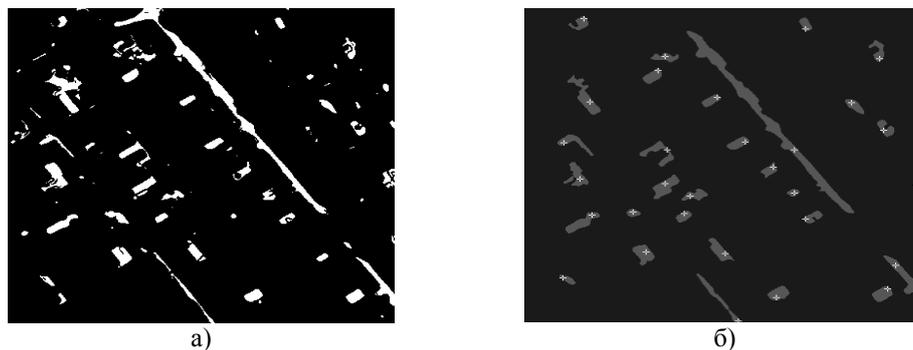


Рисунок 6 – Анализируемое изображение после определения «водораздела»

Далее выполняется размерная селекция локальных областей с целью удаления малоразмерных ЛО, относящихся к шуму [6,7]. Завершающий этап сегментации - определение границ локальных областей. Для каждой области определяются координаты и яркость максимума, количество пикселей. Данный этап аналогичен сегментации бинарных изображений [3]. Результат сегментации анализируемого изображения представлен на рисунке 6,б. Символ «+» указывает на максимум яркости локальной области.

Чтобы оценить эффективность того или иного метода обработки изображений, анализируются статистические параметры яркости изображения: математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратичное отклонение (СКО) и отношение сигнал/шум [6]. Необходимые для оценки эффективности результатов сегментации параметры исходного и преобразованного изображений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры сегментации методом «водораздела»

Вид изображения	Название параметра	Значение параметра
Исходное	математическое ожидание	101,694
	дисперсия	2993,19
	СКО	54,71
Преобразованное	максимальная яркость ЛО	255
	отношение сигнал/шум	2,802

В результате проведенного исследования доработан и реализован в виде программы для ПК метод сегментации полноградационных изображений. Для исходного изображения получено отношение сигнал/шум = 2,802, что достаточно для распознавания большинства объектов сельской местности. Данный алгоритм сегментации может найти широкое применение при дешифрировании аэрофотоснимков местности с целью формирования электронной карты, а также при мониторинге земной поверхности.

Список литературы

1. Хорн Б.К.П. *Зрение роботов*. – М.: Мир, 1989. – 487 с.
2. Сальников И.И. *Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений*. – М.: Физматлит, 2009. – 248 с.
3. Брызгалин В.В. *Исследование методов сегментации бинарных изображений*. // *Вопросы радиоэлектроники. Серия СОИУ. Выпуск 2*. – М.: ЦНИИ «Электроника», 2015. – С. 131-140.

4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2 – 480 с., ил.
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
6. Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 252 с.
7. Сальников И.И. Размерная селекция бинарных изображений локальный объектов при анализе аэрофотоснимков. Журнал «Телекоммуникации». М.: Изд-во Наука и Технологии. №2. 2015, С.17-23

УДК 28.21.27
ББК 30

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ШТРИХ-КОДА В ФОРМАТЕ PDF417

- © *А.В. Бурмистров, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр «Атлас» (г. Пенза, Россия)*
© *И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

ALGORITHM OF A PATTERN RECOGNITION BAR CODES IN FORMAT PDF417

- © *A.V. Burmistrov, Federal State Unitary Enterprise "Scientific-Technical Center" Atlas" (Penza, Russia)*
© *I.I. Salnikov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье описан алгоритм распознавания штрих-кодов в формате PDF417. Этот алгоритм использует простые функции поэлементного анализа изображений, что делает его реализацию простой и повышает его быстродействие. Алгоритм анализирует контуры черных штрихов, благодаря чему результат его работы не зависит от масштаба и поворота изображения штрих-кода. Предложенный в статье способ выявления и анализа штрихов делает алгоритм стойким к помехам и упрощает процесс извлечения информации, закодированной в штрих-коде. Представленное в статье описание алгоритма позволяет выполнить его программную реализацию без использования дополнительных библиотек.

Ключевые слова: поэлементный анализ, штрих-код, PDF417, оконтуривание изображений, распознавание штрих-кодов, кодовое слово, знак символа, модуль, штрих, анализ строки, символ "старт", символ "стоп".

In a paper the algorithm of a discernment of bar codes in a format PDF417 is circumscribed. This algorithm uses simplis functions of item image analysis, that does(makes) it a realization idle time and increases it speed. The algorithm analyzes(analyses) outlines of black primes, due to what the outcome it of work does not depend on a scale and turn of an image of a bar code. The mode, offered in a paper, of detection and analysis of primes does(makes) algorithm proof to parasites and simplifies the process of extraction of an information encoded in a bar code. The exposition, represented in a paper, of algorithm allows to execute it a programm realization without use of additional libraries.

Key words: Item the analysis, bar code, PDF417, outline of images, discernment of bar codes, code word, sign of a numeral, module, prime, analysis of a line, numeral "start", numeral "stop".

Летом 1974 года в супермаркетах *Marsh* впервые информация о товаре была закодирована с помощью штрих-кода и автоматически считана на конвейерной ленте с оптическим сканером [1]. Спустя несколько десятилетий штрих-коды стали

широко использовать в коммерческой деятельности, транспортных и складских системах, сфере учета материальных запасов, в технологических процессах и др. Повсеместное использование штрих-кодов вызвано в основном следующими тремя факторами:

1. *Простота нанесения информации в виде штрих-кода.* Штрих-код представляет собой изображение чередующихся черных и белых полос разной ширины. Для создания штрих-кода не нужны специальные материалы и сложное оборудование. Любой штрих-код можно напечатать на обычном принтере. В настоящее время производители товаров печатают штрих-коды на упаковках, поэтому торговые сети не занимаются наклеиванием тысяч этикеток, а лишь регистрируют новые товары в системе.

2. *Простота считывания информации с изображений штрих-кодов.* Обнаружить изображение штрих-кода и измерить ширину его полос – это простая задача по сравнению с распознаванием символов и цифр. Для решения этой задачи используются различные конструкции автоматизированных систем ввода информации с штрих-кодов и простые алгоритмы ее обработки.

На момент написания статьи можно встретить описания различных видов сканеров штрих-кодов и различные критерии для их классификации [2,3]. Проанализировав все виды сканеров и критерии их классификации можно сделать два важных вывода: во-первых, сканеры штрих-кодов разделяются по видам считывающих устройств на стационарные и ручные. Во-вторых, сканеры штрих-кодов разделяются по конструкции считывающего элемента на светодiodные, лазерные и сканеры изображений.

Сканеры изображений обладают большим преимуществом по сравнению с лазерными сканерами, т.к. могут распознавать не только линейные штрих-коды, но и двумерные.

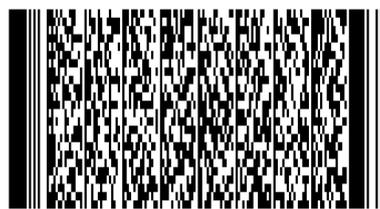
Далее речь пойдет об алгоритме распознавания изображений штрих-кодов, которые являются результатом сканирования изображений.

3. *Возможность автоматизировать ввод информации.* Штрих-код представляет собой закодированную буквенно-цифровую информацию. Оператор не вводит информацию с клавиатуры, а сканирует изображение штрих-кода и моментально получает ее в автоматизированной системе.

Существует несколько десятков способов кодирования информации в виде штрих-кода. Все способы делятся на две категории: линейные (рисунок 1,а) и двумерные (рисунок 1,б). Для каждого способа принято несколько международных стандартов штрих-кодов и несколько ГОСТов.



а) линейный EAN-код



б) двумерный штрих-код в формате PDF417.

Рисунок 1 – Пример линейного (а) и двумерного (б) штрих-кодов

В статье рассмотрен алгоритм распознавания двухмерного штрих-кода в формате *PDF417* [4]. Исходное изображение является черно-белым.

Чтобы создать и понять алгоритм распознавания штрих-кодов в формате *PDF417*, необходимо знать, что этот формат включает в себя (рисунок 2):

- *две свободные зоны*. Свободная зона – это определенное количество белых пикселей, т.е. белая полоса у левого и правого краев изображения штрих-кода;
- *знак "старт"*, который обозначает начало штрих-кода. Знак "старт" состоит из широкой черной полосы и следующих за ней чередующихся черных и белых узких полос (три черные полосы и три белые полосы). Первая черная полоса должна быть в пять или больше раз шире следующих за ней узких полос. Ширина узких полос должна совпадать;
- *знак "стоп"*, который обозначает конец штрих-кода. Знак "стоп" состоит из широкой черной полосы (ее ширина совпадает с шириной первой черной полосы знака "старт") и уникальной последовательности черных и белых полос;
- *Кодовые слова левого и правого индикаторов*. Содержат информацию о номере строки, количестве строк и столбцов, уровне коррекции ошибок;
- *Кодовые слова данных*. Содержат непосредственно данные в виде текстовых и числовых символов.



Рисунок 2 – Состав двухмерного штрих-кода в формате *PDF417*

Штрих-код в формате *PDF417* представляет собой прямоугольную матрицу, состоящую из *знаков символа*, каждому из которых соответствует кодовое слово.

Кодовое слово (рисунок 3) – это последовательность из четырех черных штрихов и четырех белых штрихов. Каждый штрих состоит из нескольких модулей. Одно кодовое слово всегда содержит 17 модулей. Отсюда и пошло название стандарта *PDF-17*.

Модуль – это минимальная длина белого или черного штриха, обозначающая его величину равную единице. Длина модуля измеряется в пикселях и зависит от масштаба и разрешения исходного изображения.



Рисунок 3 – Кодовое слово.

Алгоритм распознавания основан на анализе сечения яркости по линии и состоит из нескольких этапов.

Сначала рассмотрим **анализ сечения яркости полинии, состоящей из черно-белых точек**. Описание рассмотренного в статье алгоритма базируется на работе с точками, линиями из точек и штрихами. Поэтому, введем несколько обозначений.

$S^{(k)} = (s_0^{(k)}, s_1^{(k)}, \dots, s_n^{(k)})$ – линия, состоящая из n точек $s_n^{(k)}$, где k – это номер линии.

$s_n^{(k)} = (x_n^{(k)}, y_n^{(k)})$ – точка с координатами $(x_n^{(k)}, y_n^{(k)})$.

$R^{(k)} = (r_0^{(k)}, r_1^{(k)}, \dots, r_m^{(k)})$ – описание группы из m последовательно расположенных штрихов, на которые разделена линия с номером k .

$r_m^{(k)} = (p_m^{(k)}, s_m^{(k)'}, s_m^{(k)''}, l_m^{(k)}, l_m^{(k)'})$ – описание одного штриха, где $p_m^{(k)}$ – яркость штриха, $s_m^{(k)'}$ – точка с координатами начала штриха, $s_m^{(k)''}$ – точка с координатами конца штриха, $l_m^{(k)}$ – длина штриха, измеряемая в точках, $l_m^{(k)'}$ – длина штриха, измеряемая в модулях.

$W^{(M)}$ – количество точек в одном модуле.

$P(s)$ – функция, возвращающая яркость точки s .

$L(s^{(a)}, s^{(b)})$ – функция, возвращающая длину линии от точки $s^{(a)} = (x^{(a)}, y^{(a)})$, до точки $s^{(b)} = (x^{(b)}, y^{(b)})$. Рассчитывается по формуле:

$$L(s^{(a)}, s^{(b)}) = \sqrt{(x^{(b)} - x^{(a)})^2 + (y^{(b)} - y^{(a)})^2} \quad (1)$$

– функция, которая преобразует линию, проведенную от точки $s^{(a)}$ до точки $s^{(b)}$ в множество точек $S_n^{(k)}$.

Рассмотрим анализ k -й линии $S^{(k)}$. Пусть, d и d' указывают на номера элементов в множестве $S^{(k)}$, а j указывает на номер штриха в множестве $R^{(k)}$. Тогда, анализ линии $S^{(k)}$ состоит из следующих действий:

1. *Начальная установка.* Установим $d = 0$, т.е. выберем из массива $S^{(k)}$ первый элемент, который соответствует первой точки на линии $S^{(k)}$. Устанавливаем номер первого добавляемого штриха $j = 0$.

2. *Поиск конца штриха.* На этом этапе выполняется поиск конца штриха, который начинается с позиции d . Организуем для линии $S^{(k)}$ цикл, который перебирает ее элементы, начиная с позиции d , т.е. $d' = d, d + 1, \dots, n$. Если в процессе перебора встретим последнюю точку линии, т.е. $s_{d'}^{(k)} = s_n^{(k)}$, либо встретим

точку $S_{d'}^{(k)}$, яркость которой отличается от яркости начальной точки $S_{(d)}^{(k)}$, т.е.

$P(S_{d'}^{(k)}) \neq P(S_{(d)}^{(k)})$, тогда прерываем работу цикла и переходим пункту 3.

3. *Определение характеристик штриха.* После выполнения пункта 2 у нас имеются координаты начала $S_{d'}^{(k)}$ и конца $S_{d'}^{(k)}$ очередного штриха $r_j^{(k)}$.

Обработаем эту информацию и сохраним данные о штрихе: определим его яркость $S_j^{(k)'} = S_{d'}^{(k)}$, сохраним координаты его начала $S_j^{(k)''} = S_{d'-1}^{(k)}$ и

конца $l_j^{(k)} = L(S_j^{(k)'}, S_j^{(k)''})$, вычислим длину штриха, измеряемую в точ-

ках $p_j^{(k)} = P(S_{d'}^{(k)})$, и определим количество модулей в штрихе $l_j^{(k)'} = \frac{l_j^{(k)}}{W^{(M)}} \cdot (2)$

Если штрих $r_j^{(k)}$ содержит последнюю точку на линии, т.е. $S_{d'}^{(k)} = S_n^{(k)}$, тогда заканчиваем анализ строки. Если штрих не содержит последнюю точку на линии, т.е. $S_{d'}^{(k)} \neq S_n^{(k)}$, тогда устанавливаем следующую позицию для анализа $d = d'$, увеличиваем номер штриха $j + 1$ и переходим к пункту 2.

Описанный выше алгоритм выполняет поэлементный анализ точек на линии, затем формирует множество штрихов и определяет их свойства.

Теперь рассмотрим этапы алгоритма распознавания штрих-кода в формате PDF417.

Этап первый. Оконтуривание.

Исходное изображение (рисунок 4,а) обрабатывается, чтобы получить контуры для штрихов черного цвета (рисунок 4,б). Оконтуривание можно выполнить любыми известными методами, которые хорошо описаны в различных источниках [5]. Если не выполнять оконтуривание исходного изображения, тогда определять принадлежность точки контуру можно путем анализа ее соседних точек. Но такой подход не эффективен, т.к. одна точка может анализироваться несколько раз.

Вне зависимости от выбранного подхода, обозначим функцию

$$F(x_n^{(k)}, y_n^{(k)}) = F(S_n^{(k)}) = \begin{cases} 1, & \text{если точка принадлежит контуру} \\ 0, & \text{если точка не принадлежит контуру} \end{cases} \quad (3)$$



а) б)
Рисунок 4 – Исходное изображение штрих-кода (а) и оконтурированное (б)

Этап второй. Поиск начала и конца изображения штрих-кода.

Штрих-код начинается с изображения символа "старт" и заканчивается изображением символа "стоп". Эти символы являются уникальной последова-

тельностью штрихов. Поиск первого и последнего символов базируется на описанном выше алгоритме анализа линии и состоит из следующих шагов:

1. Выбираем координату по оси Y в центре изображения $y^{(p)} = \left\lfloor \frac{M}{2} \right\rfloor$, где

M – высота изображения.

2. Проводим горизонтальную линию от точки $a^{(p)}(0, y^{(p)})$ до точки $b^{(p)}(M, y^{(p)})$ и преобразуем ее в последовательность точек, т.е. $S^{(p)} = A(a^{(p)}, b^{(p)})$.

3. Выполнив анализ линии $S^{(p)}$ по описанному выше алгоритму, получим множество штрихов $R^{(p)}$ с их свойствами.

4. Проанализируем множество штрихов $R^{(p)}$ и найдем символ "старт", который состоит из последовательности: белого широкого штриха, черного широкого штриха, трех пар узких бело-черных штрихов и белого широкого штриха (рисунок 5).

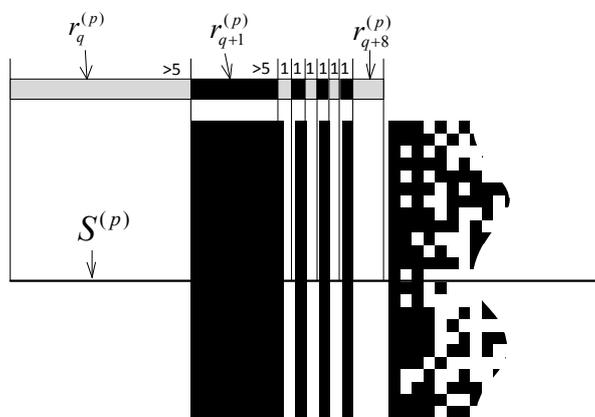


Рисунок 5 – Изображение символа "Старт"

Анализ множества штрихов $R^{(p)}$ заключается в следующем. Выбираем девять штрихов $r_z^{(p)}, r_{z+1}^{(p)}, \dots, r_{z+8}^{(p)}$ из

множества $R^{(p)}$, начиная с позиции Z . Затем анализируем их свойства. Считаем символ "старт" найденным, если выполняются следующие условия:

1. $(p_z^{(p)} = 1) \& (p_{z+1}^{(p)} = 0) \& (p_{z+2}^{(p)} = 1) \& (p_{z+3}^{(p)} = 0) \& (p_{z+4}^{(p)} = 1) \& (p_{z+5}^{(p)} = 0) \& (p_{z+6}^{(p)} = 1) \& (p_{z+7}^{(p)} = 0) \& (p_{z+8}^{(p)} = 1) \& (p_{z+9}^{(p)} = 0)$
2. $l_{z+2}^{(k)} = l_{z+3}^{(k)} = l_{z+4}^{(k)} = l_{z+5}^{(k)} = l_{z+6}^{(k)} = l_{z+7}^{(k)}$ с погрешностью $\pm 5\%$. (4)

Поскольку масштаб и поворот изображения изначально неизвестны, поэтому неизвестно количество точек в модуле $W^{(M)}$. Во время поиска символа "старт" эту величину можно определить, как среднее значение трех узких полос:

$$W^{(M)} = \frac{l_{z+2}^{(k)} + l_{z+3}^{(k)} + l_{z+4}^{(k)} + l_{z+5}^{(k)} + l_{z+6}^{(k)} + l_{z+7}^{(k)}}{6}. \quad (5)$$

$$3. (l_z^{(k)'} \geq W^{(M)} \cdot 6) \& (l_{z+1}^{(k)'} \geq W^{(M)} \cdot 5) \& (l_{z+8}^{(k)'} \geq W^{(M)} \cdot 2). \quad (6)$$

Если выполняются все три условия, значит символ "старт" найден и тогда мы запоминаем координаты точки, которая находится на контуре широкого

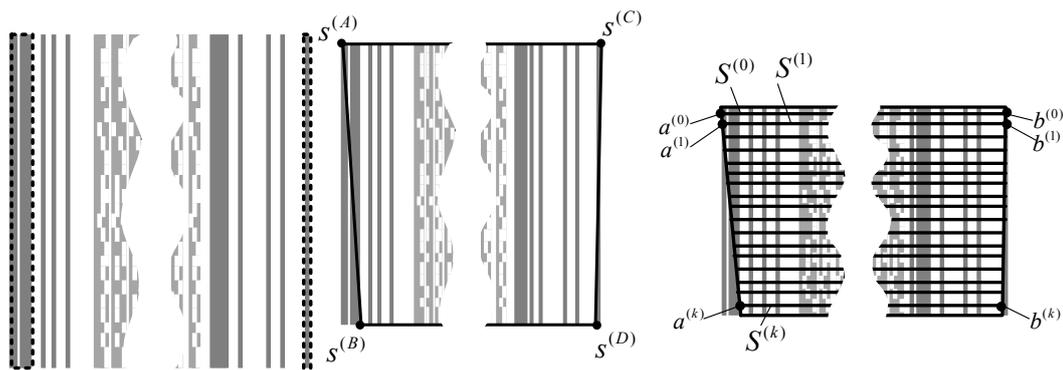
черного штриха, т.е. $S^{(START)} = S_z^{(k)}$. Затем, аналогичным образом выполняем поиск последовательности штрихов, обозначающих символ "стоп".

Если найден только один символ или символы не найдены вовсе, тогда смещаемся по оси Y вверх или вниз и выполняем анализ линии по горизонтали еще раз. Выполняем вышеперечисленные действия до тех пор, пока не найдем оба символа.

Когда найдены оба символа, тогда нам известны две точки: $S^{(START)}$ – точка, принадлежащая контуру широкого черного штриха символа "старт" и $S^{(STOP)}$ – точка, принадлежащая контуру последнего черного штриха символа "стоп".

Этап третий. Получение сегментов с контурами черных штрихов.

Контурные черные штрихов – это расположенные рядом яркие точки, которые можно объединить в один сегмент. Сформируем два сегмента: сегмент с контуром первого черного штриха символа "старт" и сегмент с контуром последнего черного штриха символа "стоп" (рисунок 6,а). Сегментацию можно выполнить любыми способами, которые хорошо описаны в литературе [6].



а) пунктиром обозначены сегменты для черных штрихов б) черной линией обозначена прямоугольная область с изображением штрих-кода в) линии для анализа строк

Рисунок 6 – Формирование маски для анализа строк

Этап четвертый. Формирование маски для анализа строк.

Определим многоугольник (рисунок 6,б), внутри которого будет располагаться изображение штрих-кода. Многоугольник состоит из двух параллельных линий, соответствующих верхней и нижней границам штрих-кода и двух линий, соответствующих левой и правой границам штрих-кода. Для формирования многоугольника выполним следующие действия:

1. *Найдем линии, соответствующие левой и правой границам многоугольника.* Полученные на предыдущем этапе сегменты, соответствуют внешним контурам черных штрихов, которые являются прямоугольниками. Найдем две наиболее удаленные точки в сегментах, мы получим диагональ многоугольника.

ников, т.е. линии, которые соответствуют левой и правой границам штрих-кода (рисунок 6,б – линии $[s^{(A)}, s^{(B)}]$ и $[s^{(C)}, s^{(D)}]$).

2. *Достроим многоугольник.* Зная две линии многоугольника можно достроить две его недостающие линии. Для этого, вычислим расстояние от точки $s^{(A)}$ до точек $s^{(C)}$ и $s^{(D)}$, а затем построим многоугольник:

$$\begin{cases} \text{если } L(s^{(A)}, s^{(C)}) < L(s^{(A)}, s^{(D)}), \text{ тогда } s^{(A)}, s^{(C)}, s^{(D)}, s^{(B)} \\ \text{если } L(s^{(A)}, s^{(C)}) > L(s^{(A)}, s^{(D)}), \text{ тогда } s^{(A)}, s^{(D)}, s^{(C)}, s^{(B)} \end{cases} \quad (7)$$

Полученный ранее многоугольник с изображением штрих-кода разобьем на строки для анализа. Количество строк зависит от параметров штрих-кода и известно изначально, либо вычисляется исходя из высоты штрих-кода и значения $W^{(M)}$. Чтобы разбить многоугольник на строки, делим линии $[s^{(A)}, s^{(B)}]$ и $[s^{(C)}, s^{(D)}]$ на равные отрезки, а затем соединяем центры этих отрезков и получаем параллельные линии $[a^{(0)}, b^{(0)}]$, $[a^{(1)}, b^{(1)}], \dots, [a^{(k)}, b^{(k)}]$. После, используя функцию $A(a^{(k)}, b^{(k)})$, преобразуем каждую линию $[a^{(k)}, b^{(k)}]$ в множество точек $S^{(k)}$ и получаем $S^{(0)}, S^{(1)}, \dots, S^{(k)}$ (рисунок 6,в).

Теперь проанализируем каждую линию $S^{(k)}$ по описанному выше алгоритму и разобьем ее на штрихи $r_m^{(k)}$, т.е. получим множество штрихов $R^{(k)}$

Этап пятый. Анализ строк.

Чтобы извлечь закодированную в изображении штрих-кода информацию, необходимо проанализировать свойства штрихов, расположенных на линиях. Для этого, проанализируем полученные на предыдущем этапе множества штрихов $R^{(k)}$ с учетом спецификации штрих-кода в формате *PDF417*:

- множество принадлежащих одной строке штрихов $R^{(k)}$ разбивается на кодовые слова, т.е. на группы штрихов, которые в сумме составляют 17 модулей и состоят из четырех пар чередующихся черно-белых штрихов;
- каждому кодовому слову ставится в соответствие знак символа.

Описание процедуры кодирования/декодирования кодовых слов и знаков символов выходит за рамки данной статьи и приведено в ГОСТе [4].

Рассмотренный алгоритм обладает следующими преимуществами:

1. Открытость. Описание алгоритма начинается с поэлементного анализа исходного изображения, а заканчивается получением знаков символов, т.е. охватывает полный процесс распознавания штрих-кодов. Это позволяет создавать различные программные и аппаратные реализации без использования готовых решений.

2. Независимость от масштаба и поворота. На втором этапе выясняется масштаб изображения, т.к. определяется количество точек в модуле, а на третьем и четвертом этапах строится маска для анализа строк, которая привязана к конурам изображения штрих-кода, т.е. зависит от произвольного положения изображения штрих-кода.

3. Защита от помех. Вероятность того, что помеха вокруг изображения штрих-кода совпадет с изображением символов "старт" или "стоп" крайне мала. Поэтому, внешний контур изображения штрих-кода определяется с высокой точностью. Если помеха окажется на изображении штрих-когда, тогда будет изменена ширина кодового слова или искажена контрольная сумма извлекаемой информации. Подсчет контрольной суммы описан в спецификации.

На момент написания статьи существовало несколько библиотек для распознавания штрих-кодов, среди которых наибольшее распространение получили: *ZXing* [7] и *ZBarbarcodereader* [8]. Корректно сравнить реализацию описанного в статье алгоритма с уже существующими решениями сложно по двум причинам. Во-первых, скорость работы алгоритма сильно зависит от его реализации. Во-вторых, скорость работы реализованного модуля сильно зависит от графического интерфейса и используемой программной платформы.

Предложенный в статье алгоритм был реализован на языке Java и оформлен в виде библиотеки. Затем была написана программа, в которой распознавание изображения штрих-кода осуществлялось с помощью собственной библиотеки и двух известных библиотек: *ZXing* и *ZBarbarcodereader*.

Затем был проведен эксперимент, который показал, что собственная библиотека безошибочно распознает изображения штрих-кодов и работает на 7-11 % процентов быстрее существующих библиотек *ZXing* и *ZBarbarcodereader*.

Заключение. Описанный в статье алгоритм основан на простых функциях поэлементного анализа изображения [9-11], что упрощает его реализацию и существенно повышает его быстродействие. Полное и открытое описание алгоритма позволяет выполнить его реализацию для любой программной платформы без использования сторонних библиотек. Важно отметить, что алгоритм обладает высокой стойкостью к помехам, а результат его работы не зависит от масштаба и положения изображения штрих-кода.

Список литературы

1. Margalit Fox Alan Haberman, *Who Ushered In the Bar Code, Dies at 81* / Margalit Fox // «The New York Times». – 2011. – JUNE 15. URL: http://www.nytimes.com/2011/06/16/business/16haberman.html?_r=1&hp (дата обращения: 20.11.2016).
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Штриховой_код – Краткая статья о штрих-кодах.
3. Фролова Г. *Что важно знать о сканерах штриховых кодов* / Г. Фролова // «Склад и Техника». – 2005. – № 4. URL: http://www.sitmag.ru/article/systems/2005_04_A_2005_06_08-11_40_31/ (дата обращения: 20.11.2016).
4. ГОСТ Р 51294.9-2002. *Автоматическая идентификация. Кодирование штриховое. Спецификации символики PDF417 (ПДФ417)*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51294-9-2002> (дата обращения: 20.11.2016).
5. Претт У. *Цифровая обработка изображений* : Пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – Кн.2. – 480 с.
6. Сальников И.И. *Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений*. – М. : Физматлит, 2009. – 248 с.
7. <https://zxing.org/w/decode.jsp> – Официальный сайт проекта «ZXingDecoder».

8. <http://zbar.sourceforge.net/> – Официальный сайт проекта «ZBarbarcode reader».
9. Сальников И.И. Методы и алгоритмы сегментации бинарных изображений на основе построчного анализа. - Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 03(19), 2014. – С.29-40.
10. Сальников И.И. Методы размерной селекции при анализе бинарных изображений. – Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 03(19), 2014. – С.89-95.
11. Сальников И.И. Программное средство анализа и преобразования изображений РАПИД. - Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 03(19), 2014. – С.169-176.

УДК 621.396.96
ББК 32

ИМПУЛЬСНЫЙ ФАЗОВЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ НАРУШИТЕЛЯ В РАДИОЛУЧЕВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ОХРАНЫ

© *Е.А. Данилов, Пензенский государственный технологический университет,
(Пенза, Россия)*

EVALUATION PARAMETERS WAVELET TRANSFORM CHIRP SIGNAL IN THE FREQUENCY RADIOLUCHEVYH TECHNICAL SYSTEMS PROTECTION

© *Е.А. Danilov, Penza State Technological University, (Penza, Russia)*

В статье рассмотрен метод улучшения тактико-технических характеристик радиолучевой системы охраны при использовании импульсного фазового метода. Выполнено нахождение аналитического выражения для выбора частоты при заданной протяженности зоны обнаружения. Показано, что в радиолучевой системе охраны можно перейти от непрерывного излучения к импульсному.

Ключевые слова: техническое средство охраны, средство обнаружения, фазовый метод измерения дальности, спектры сигналов, радиоимпульс, сигнальные процессоры

The article describes the method of improving the performance characteristics of radioray guard system using the pulse phase method. Achieved finding analytical expression to select the frequency for a given length of the detection zone. It is shown that in radioray guard system can switch from continuous to pulse emission.

Key words: technical means of guard, detection means, the phase range measurement method, signal spectra, radar pulse, signal processors

E-mail: EvgenyDplus@mail.ru

В настоящее время активно развивается направление быстроразвертываемых сигнализационных комплексов вместе с ним развивается направление мобильных технических средств охраны (ТСО). В связи с этим, возрастают требования ко времени автономной работы ТСО, следовательно, к потребляемой мощности.

Одними из распространённых ТСО являются радиолучевые ТСО (РЛТСО), в частности однопозиционные РЛТСО. Их применение обусловлено простой монтажа, слабой зависимостью от внешних факторов, низкой вероятностью ложной тревоги. В однопозиционных РЛТСО широкое распространение получили линейно частотно модулированные сигналы и метод измерения дальности на

его основе, описанный в [2]. Одним из недостатков такого подхода является необходимость непрерывного излучения, что не позволяет снизить энергопотребление. Следовательно, возникает необходимость перехода к импульсным методам обнаружения, например, метод с использованием вейвлет-преобразования [3] или импульсный фазовый метод.

Одночастотный фазовый метод заключается в измерении приращения фазы [2] $\Delta\varphi$ между излученными и отраженными колебаниями, что изображено на рисунке 1. В пространство излучаются непрерывные колебания $s_1(t) = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$, где A_1 – амплитуда, ω_1 – угловая частота, φ_1 – начальная фаза, выражение $\omega_1 t + \varphi_1$ называется полной фазой. Отраженные колебания $s_o(t) = A_o \cos(\omega_1(t - t_3) + \varphi_1)$ запаздывают на t_3 .

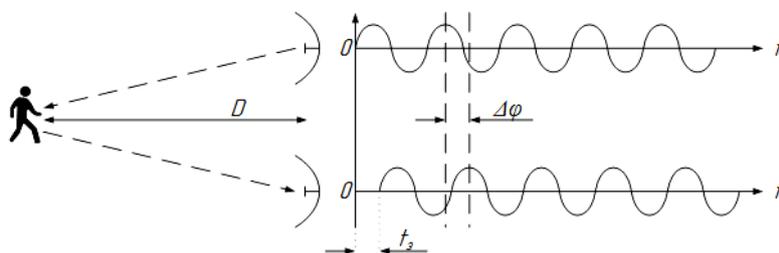


Рисунок 1 – Графическое представление одночастотного фазового метода

Определим разность фаз $\Delta\varphi = (\omega_1 t + \varphi_1) - (\omega_1(t - t_3) + \varphi_1) = \omega_1 t_3$, откуда выразим время задержки:

$$t_3 = \frac{\Delta\varphi}{\omega_1} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi f_1}, \quad (1)$$

где f_1 – несущая частота.

Радиоволны распространяются в пространстве со скоростью света, следовательно, расстояние D будет пройдено за время D/c , где c – скорость света. Но так как мы работаем с отраженными колебаниями радиоволна должна пройти обратный путь, тогда время задержки $t_3 = \frac{2D}{c}$. С учетом (1) выразим дальность:

$$D = \frac{t_3}{2} c = \frac{\Delta\varphi}{4\pi f_1} c. \quad (2)$$

Так как фаза изменяется циклически, однозначное измерение разности фаз производится в пределах одного периода $[0; 2\pi)$, при больших значениях возникает неоднозначность, то есть $\Delta\varphi < 2\pi$, используя формулу (2) однозначно измеряемая дальность будет равна:

$$D_{\text{одн}} < \frac{2\pi}{4\pi f_1} c = \frac{\lambda}{2}, \quad (3)$$

где λ – длина волны.

Так как фаза является аргументом функции косинуса, то для ее восстановления нам потребуется использовать арккосинус с областью значений $[0; \pi]$. Подставив значение в формулу (2) получим максимальную дальность

$$D_{\text{max}} = \frac{\pi}{4\pi f_1} c = \frac{\lambda}{4}, \quad (4)$$

что в два раза меньше однозначно определяемой дальности. При использовании относительно низких частот такая дальность приемлема, но на частотах, используемых в РЛТСО, она слишком мала.

Из выражения (4) следует, что при выборе частоты следует руководствоваться следующим неравенством:

$$f \leq \frac{c}{4D_{max}}. \quad 5)$$

Задав дальность 100 метров и используя выражение (5) получаем частоту примерно равную 750 кГц. РЛТСО не работают на таких частотах, для решения этой проблемы применяют фазовый метод с модуляцией несущей [2]. Излучаемые амплитудно-модулированные (АМ) колебания примут вид $s_1(t) = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) \cdot A_m \cos(\omega_m t + \varphi_m)$, отраженные $s_o(t) = A_o \cos(\omega_1(t - t_z) + \varphi_1) \cdot A'_m \cos(\omega_m(t - t_z) + \varphi_m)$. Мы производим модуляцию гармоническим колебанием, этот процесс сопровождается возникновением пары боковых частот, в спектре сигнала [1].

После приема колебания поступают на амплитудный детектор, где выделяется огибающая $A'_m \cos(\omega_m(t - t_z) + \varphi_m)$ и измеряется фазовый сдвиг т.е. сравнивается приращение фазы между модулирующими колебаниями излученными и отраженными.

Далее рассмотрим переход к импульсному режиму, которые является более экономичным. $2\pi/(2\pi/\omega_m) = \omega_1 \pm \omega_m$ следовательно боковые полосы равны, что позволяет перейти от непрерывного АМ излучения к импульсному с частотным заполнением.

На рисунке 2 представлена схема однопозиционной РЛТСО с импульсным фазовым методом. Сигнальный процессор (СП) формирует импульсную последовательность с частотой модуляции ω_m которая поступает на управляемый генератор высоких частот (ГУВЧ), который преобразует их в радиоимпульсы с частотой заполнения ω_1 .

Радио импульсы поступают в передающее устройство (ПРД) и излучаются в пространство. Также, радио импульсы от генератора поступают на амплитудный детектор (АД), чтоб выделить огибающую, необходимую для определения сдвига фазы. Затем используется фильтр низких частот (ФНЧ) для подготовки к оцифровке в аналого-цифровом преобразователе (АЦП).

Оцифрованный излученный сигнал поступает в зону охраны. Отразившись от нарушителя ЭМ-волна поступает в приемное устройство (ПРМ) и поступает на АД затем ФНЧ и АЦП, после чего оцифрованный отраженный сигнал поступает в СП. В СП производится дополнительная полосовая фильтрация обоих сигналов, чтобы подавить гармоники, оставшиеся в сигнале. После этого, сигналы поступают на фазометр, сдвиг фазы полученный фазометром пересчитывается в расстояние и выдается сигнал тревоги.

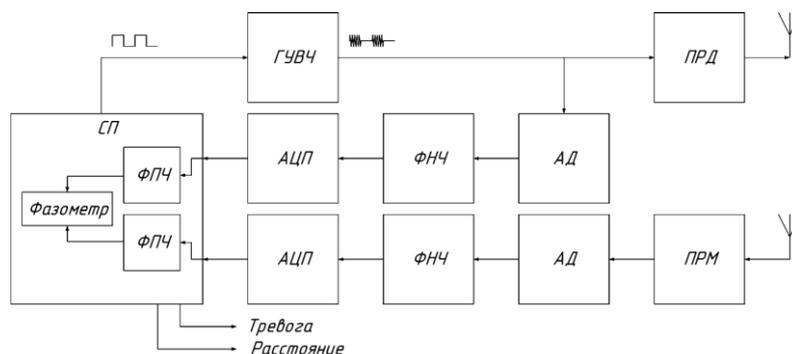


Рисунок 2 – Схема однопозиционной РЛТСО, использующей импульсный фазовый метод

Предложенное решение позволяет отказаться от смесителя и гетеродина, используемых в существующих РЛТСО. Используется только амплитудный детектор, что упрощает конструкцию устройства. Переход к импульсному режиму работы снижает энергозатраты, решая важную задачу увеличения длительности автономной работы РЛТСО. Кроме того, в импульсном режиме снижается средняя излучаемая мощность, что позволяет увеличить импульсную мощность, тем самым увеличив протяженность зоны обнаружения. При этом решается задача определения места пересечения нарушителем охраняемой зоны.

Список литературы

1. Гоноровский И.С. *Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.*
2. Белоцерковский Г.Б. *Основы радиолокации и радиолокационные устройства. – М.: Советское радио, 1975. – 336 с.*
3. Данилов Е.А., Сальников И.И. *Моделирование вейвлет-преобразования в частотных радиолучевых технических системах охраны. Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс». – Пенза: Изд-во Пенз.гос.технолог.акад., №05(09), 2012. – С.107-111.*
4. Данилов Е.А., Сальников И.И. *Детектирование движения объекта в методе накопления изображений. Журнал «Успехи современного естествознания». М., Изд.РАЕ, №6, 2012, С.92-93*
5. Данилов Е.А., Сальников И.И., Бутаев М.М. *Информационная модель радиолокационной технической системы охраны с линейно-частотным модулированным сигналом. Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс». – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2013. – №12(16). С.247-250.*
6. Данилов Е.А., Сальников И.И. *Оптимизация информационных параметров ЛЧМ-сигнала в частотных РЛТСО. Электронный журнал «Современные проблемы науки и образования». – 2014. – № 5; URL: <http://www.science-education.ru/119-14535>.*

УДК 004.932
ББК 34

**ВЫДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ КОМПЕНСАЦИИ
СМЕЩЕНИЯ ФОНА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ
ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

© **В.А. Кочкин**, НИИ Радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана
(г. Москва, Россия)

© **В.Ю. Лоскутов**, НИИ Радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана
(г. Москва, Россия)

**DYNAMIC OBJECTS DETECTION WITH THE BACKGROUND SHIFT
COMPENSATION IN THE SERIES OF INHOMOGENEOUS
DYNAMIC IMAGES**

© **V.A. Kochkin**, Radio-electronic equipment research institute of Bauman Moscow
State Technical University (Moscow, Russia)

© **V.J. Loskutov**, Radio-electronic equipment research institute of Bauman Moscow
State Technical University (Moscow, Russia)

Предложен автоматический метод выделения динамических объектов при компенсации смещения фона в последовательности неоднородных динамических изображений. Для оценки смещения фона предложено использовать корреляционное сравнение особых точек лапласианов анализируемых изображений. В качестве опорных точек используются точки изображений с максимальными значениями лапласианов.

Ключевые слова: выделение изображения динамического объекта, смещение фона, оценка смещения, метод опорных точек, корреляционное сравнение, лапласиан, неоднородный фон.

An automatic method for allocation of dynamic objects with the background shift compensation in the series of inhomogeneous dynamic images is suggested. To assess the background bias is proposed to use the correlation comparison of singular points Laplacians of analyzed images. As reference points used image points with maximum values of Laplacians.

Key words: dynamic object image detection, displacement of background, assessment of displacement, feature points selection method, correlation comparison, Laplacian, heterogeneous background.

Создание автоматических оптико-электронных систем (ОЭС) обнаружения и определения координат динамических объектов (ДО), функционирующих в реальном времени (РМ), требует решения информационных задач в условиях сложной фоно-целевой обстановки (ФЦО), характеризующейся наличием пространственно-неоднородного фона (фон подстилающей поверхности, облачный фон и т.п.).

В условиях наличия фона для решения задачи обнаружения ДО необходимо решить задачу выделения объекта, т.е. провести классификацию изображения на области, принадлежащие объекту, и области, принадлежащие фону. При априорной неопределенности вида объекта и фона данные задачи носят вероятностный характер и могут быть решены только с использованием статистических методов. Для выделения ДО наиболее часто используется признак относительного движения объекта и фона в поле зрения координатора ОЭС [1-5].

Одним из перспективных методов решения данной задачи является суммарно-разностная обработка изображений. Работоспособность данного метода и вероятностные характеристики обнаружения ДО в значительной

мере определяются точностью определения смещения фоновой компоненты ФЦО для последовательно регистрируемых изображений. Функционирование ОЭС в автоматическом режиме в РМ в сочетании с большой размерностью анализируемых изображений обуславливают актуальность решения задачи разработки методов определения смещения изображений и выделения ДО в условиях ограниченной вычислительной сложности реализуемых алгоритмов. Для решения задачи стабилизации изображения ФЦО необходимо решение в РМВ задачи оценки вектора межкадрового смещения (движения) изображения ФЦО $\Delta \vec{r}_k$.

В настоящее время предложены многочисленные методы оценки смещения изображения в серии последовательно регистрируемых изображений – видеопоследовательности. В [6] предложена классификация данных методов на два основных направления: статистический и параметрический подходы. Предложенная в [6] классификация условна, т.к. оба данных подхода в рамках статистического подхода, считающегося более эффективным при наличии однородного фона, применяются корреляционные методы, методы статистической сегментации, методы пространственной и пространственно-временной фильтрации, многоэталонные методы [11,12].

В условиях априорной неопределенности пространственно-частотных и пространственно-временных характеристик ФЦО, свойственных для работы ОЭС в реальных условиях при наблюдении ДО на фоне подстилающей поверхности, при необходимости работы ОЭС в автоматическом режиме при ограничениях на вычислительную сложность алгоритмов.

Применительно к ОЭС, работающим в условиях сложного фона, фоновая компонента регистрируемых изображений ФЦО характеризуется свойствами протяженности, неоднородности энергетических и пространственно-частотных характеристик фона по полю зрения ОЭС, наличия неоднородной шумовой компоненты и нестационарности геометрическо-энергетической структуры.

Последняя характеристика определяется совместным действием двух факторов – нестационарностью энергетических характеристик фоновой компоненты и относительным движением ОЭС и фона, что приводит к появлению геометрических искажений изображения фоновой компоненты (ИФК). В общем случае эти искажения описываются проективными преобразованиями [9]. Применительно к работе большинства ОЭС можно ограничиться только одним классом геометрических преобразований ИФК - смещением. Это основано на том, что за время между регистрацией двух последовательных изображений, ФЦО стационарна и местоположение ее фрагментов изменяется незначительно. Подавляющее большинство регистрируемых видеопоследовательностей ФЦО удовлетворяют этому ограничению, за исключением участков резкой смены ФЦО, т. е. характер движения фрагментов ФЦО в видеопоследовательности можно считать практически непрерывным. Данные ограничения практически всегда выполняются для ОЭС, размещаемых на стационарных платформах.

В условиях наблюдения объекта на фоне подстилающей поверхности примем следующая неаддитивная модель непрерывного изображения ФЦО, являющаяся обобщением модели [10]:

$$f_k(\vec{r}) = f(\vec{r}, t_k) = s(\vec{r}, t_k)S(\vec{r}, t_k) + g(\vec{r}, t_k)\bar{S}(\vec{r}, t_k) + n(\vec{r}, t_k),$$

$$\vec{r} \in F(t_k) \subset R^2, \quad (1)$$

где $s(\vec{r}, t_k)$, $g(\vec{r}, t_k)$, $n(\vec{r}, t_k)$ - изображения ДО, фоновой и шумовой аддитивной компонент соответственно; $F(t_k) = F(\vec{r}, t_k)$, $G(\vec{r}, t_k) \equiv \bar{S}(\vec{r}, t_k)$, $S(\vec{r}, t_k)$ - апертурные функции изображений ФЦО, ИФК и ДО; t_k - время регистрации k -ого изображения ФЦО.

Анализ применимости различных методов определения смещения в последовательности регистрируемых изображений ФЦО $\{f_k(\vec{r})\}$, характеризующихся априорной неопределенностью характеристик ИФК, показал эффективность корреляционных методов оценивания параметров смещения ИФК ФЦО $\Delta\vec{r}_k$. В данных методах смещение изображений ФЦО определяется как координата глобального экстремума критериальной функции корреляционного вида:

$$\Delta\vec{r}_k = \underset{\vec{r}}{\arg \text{extr}} K_{k, k+l}(\vec{r}), \quad (2)$$

где $K_{k, k+l}(\vec{r})$ - разностный или корреляционный функционал, определенный на $k+l$ и k -ом изображениях ФЦО, из которых одно, k -ое, выбрано как опорное.

Наиболее часто в качестве функционала $K_{k, k+l}(\vec{r})$ используют [1, 2] разностные функционалы вида:

$$\Delta\vec{r}_{km} = \underset{\vec{r}}{\arg \text{extr}} K_{k, k+l}(\vec{r}) = \iint_D |f_k(\vec{\rho}) - f_{k+l}(\vec{\rho} - \vec{r})|^2 \rho, \quad (3)$$

где $D = D(\vec{\rho}) = F(\vec{\rho}, t_k) \cap F(\vec{\rho} - \vec{r}, t_k)$ - область интегрирования, значительно снижающие вычислительную сложность метода. Тем не менее, актуальной является задача дальнейшего снижения вычислительной сложности для обеспечения работоспособности в условиях работы в РВ для изображений ФЦО большой размерности (до 10^6 э.р. и более).

Данные недостатки в значительной степени преодолены в многоэтапных корреляционных алгоритмах, в которых формируется совокупность $\{\Delta\vec{r}_{km}\}$, $m = 1 \dots M$ векторов смещений $\Delta\vec{r}_{km}$ фрагментов фона (эталонов), определяемых через корреляционный функционал как:

$$\Delta\vec{r}_{km} = \underset{\vec{r}}{\arg \text{extr}} K_{k, k+l, m}(\vec{r}), \quad (4)$$

$$K_{k+l,k,m}(\vec{r}) = \iint_{D_m} f_k(\vec{\rho}) \cdot f_{k+l}(\vec{\rho} - \vec{r}) d^2 \rho$$

где $K_{k+l,k,m}(\vec{r})$ - взаимно-корреляционная функция (ВКФ) m -ного фрагмента ФЦО и ФЦО, $D_m = G_m(\vec{\rho}, t_k) \cap G_m(\vec{\rho} - \vec{r}, t_k)$. Данный фрагмент, принятый за m -ный эталон (блок), определяют в пределах апертурной области $G_m(\vec{\rho}, t_k) \subset G(\vec{\rho}, t_k)$, при этом $G_m(\vec{\rho}, t_k) \cap G_n(\vec{\rho}, t_k) \Big|_{m \neq n} = \emptyset$.

Наиболее сложными этапами при реализации данных методов являются [7]: оптимизация выбора фрагментов (эталонов), обеспечивающих точность определения смещения ИФК, автоматизация данной операции и оперативная замена фрагментов при движении ИФК. Размер каждого эталона должен быть с одной стороны достаточно большим, чтобы обеспечить значимый уровень амплитуды корреляционного пика, а с другой стороны, не увеличивать существенно вычислительную сложность метода.

Возможно использование нескольких подходов к выбору опорных фрагментов - эталонов [7]:

- все эталоны выбираются на изображении ФЦО случайным образом в пределах зоны, ограниченной относительно краев изображения.
- выделение на изображении нескольких произвольных фрагментов, а затем выбор одного из них по определённому критерию, например по максимуму дисперсии или по максимуму отличия от окружающей ФЦО;
- вычисление критерия по всем фрагментам, лежащим в зоне поиска эталонов с последующим выбором фрагмента, для которого он максимален.

Приведённые подходы различаются по скорости работы (каждый последующий требует бóльших вычислительных ресурсов), и по необходимому количеству изображений ФЦО, необходимых для решения задачи оптимизации.

К недостаткам данного класса методов относится высокая вероятность ошибок при работе ОЭС по однородной ФЦО.

В данной работе рассматривается автоматический метод выделения ДО в последовательности изображений ФЦО. Предлагаемый метод основан на определении межкадрового смещения ИФК $\Delta \vec{r}_k$, смещении текущего изображения ФЦО на величину $-\Delta \vec{r}_k$, формировании разностного изображения, его пороговой обработке и выделении ДО как ненулевой области разностного изображения. Операции данного метода в части формирования разностного изображения, его обработки и выделения изображения ДО описаны в [5, 8], поэтому подробно рассмотрим предлагаемый метод определения межкадрового смещения фона.

Данный метод является автоматическим, совмещает высокое быстродействие, свойственное параметрическим методам, с высокими точностными характеристиками метода особых точек и корреляционных методов. Он основан на формировании для последовательности изображений ФЦО

$$\{f_k(\vec{r}_y)\}, k=1 \dots K$$

их лапласианов, выборе M точек лапласианов изображений ФЦО, максимальных по интенсивности, формировании вокруг каждой из выбранных точек лапласианов центрированных пространственных стробов и

корреляционном сравнении лапласианов первого и последующих изображений в пределах сформированных стробов.

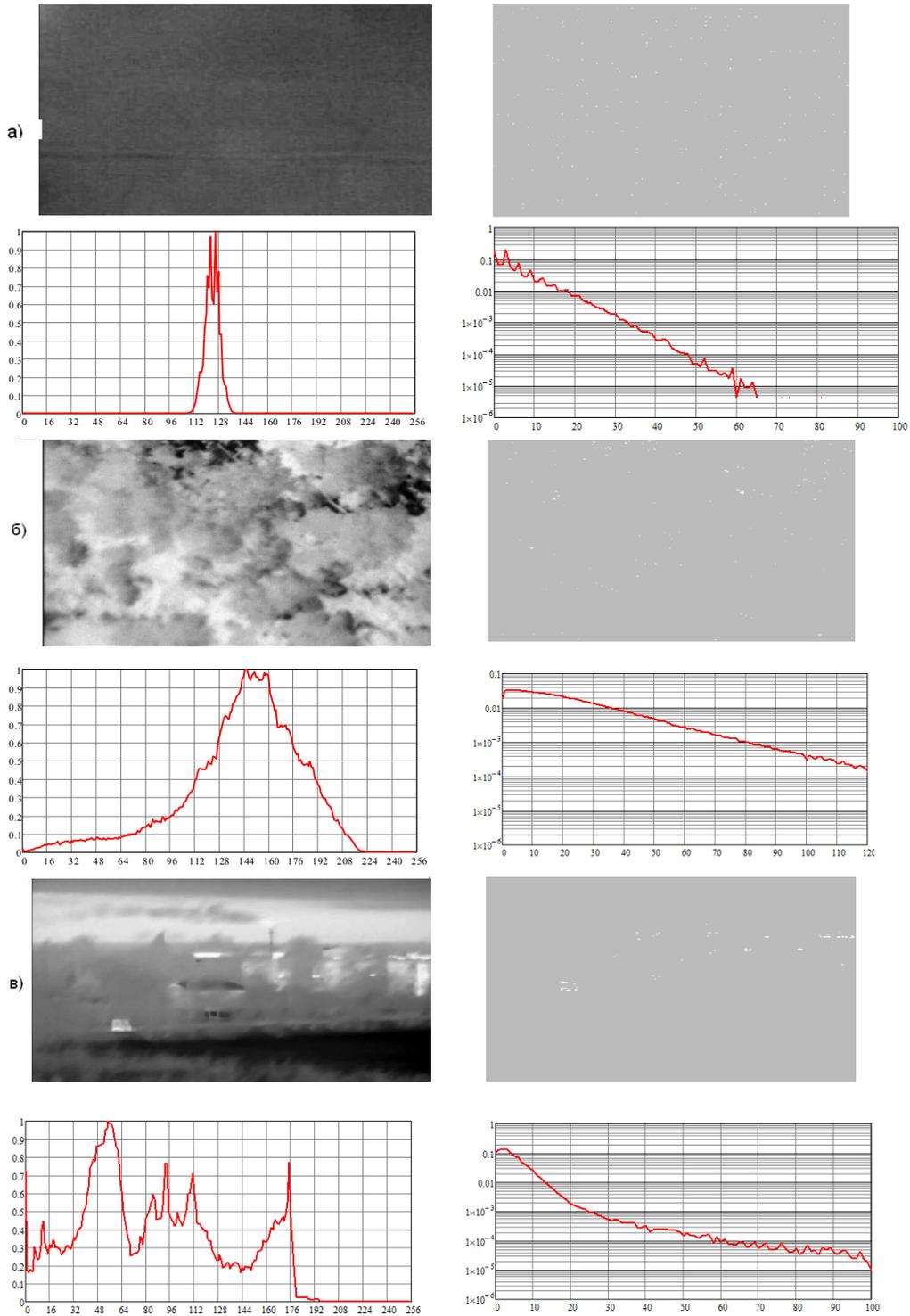
В качестве совокупности опорных точек автоматически выбираются точки в областях максимального изменения яркости изображений ФЦО. При выборе достаточно большого количества анализируемых точек лапласиана ($M \in 100 \dots$) вероятность формирования точек лапласиана шумовыми выбросами и изображением ДО незначительна. При использовании данного метода необходимо автоматически решать задачу классификации вида ФЦО: однородный или неоднородный фон.

Метод определения межкадрового смещения ИФК заключается в следующем. Для опорного изображения ФЦО (дискретное представление изображения ФЦО имеет вид $f_k(\vec{r}_{ij}) = f_{ref}(\vec{r}_{ij})$) формируется гистограмма яркости $H_{ref}(b)$ и оцениваются ее параметры: математическое ожидание $m_{b,k} = m_{b,ref}$ и дисперсия $D_{b,k} = D_{b,ref}$. Вид опорных изображений, гистограмм яркости для трех тестовых последовательностей изображений ФЦО приведен на рисунке 1 слева, причем а) тест 1 – однородный фон яркого неба, $m=124$; $\sigma_{ref} = \sqrt{D_{b,ref}} = 4,6$; б) тест 2 – лесная постилающая поверхность, $m=143$; $\sigma_{ref} = 37,5$; в) тест 3 – ДО на фоне ландшафта, $m=84$; $\sigma_{ref} = 48,0$.

Формируется опорная последовательность особых областей опорного изображения $\{RL_{ref}\}$. Для этого определяется лапласиан опорного изображе-

ния $f_{ref}(\vec{r}_{ij})$ путем цифровой свертки опорного изображения с ядром Лапласа $L_k(\vec{r}_{ij}) = L_{ref}(\vec{r}_{ij}) = f_{ref}(\vec{r}_{ij}, t_k) \otimes H_L$,

$$\text{где } H_L = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \text{ - дискретное ядро Лапласа.}$$



*Рисунок 1 – Тестовые опорные изображения и их гистограммы (слева).
Изображения модулей лапласианов и их гистограммы (справа).*

Модули лапласианов опорных изображений для тестовых последовательностей изображений ФЦО приведены на рисунке 1, справа.

Последовательность $\{RL_{ref}\}$ формируется из лапласиана опорного изображения ФЦО путем ранжирования по модулю амплитуды лапласиана $|L_m| \geq |L_{m+1}|$:

$$RL_{ref} = \{(|L_m|, \vec{r}_m)^T\}, m = 1 \dots N_L \quad (6)$$

Отметим, что m -ный член описывается вектором, компонентами которого являются характеристики точки изображения: $|L_m|$ координаты \vec{r}_m :

$$\vec{r}_m = \arg L_k(\vec{r}_y) \Big|_{L_k(\vec{r}_y) = |L_m|} \quad (7)$$

Для лапласиана опорного изображения определяется гистограмма модуля амплитуды $HL_{ref}(|L|)$ и оценка интегрального закона распределения модуля лапласиана $P_L(|L|) = \sum_{i=0}^{|L|} HL_{ref}(|L_i|)$.

На рисунке 2,а приведены Их интегральные законы распределения в области больших значений лапласианов для тестовых изображений (рисунок 1).

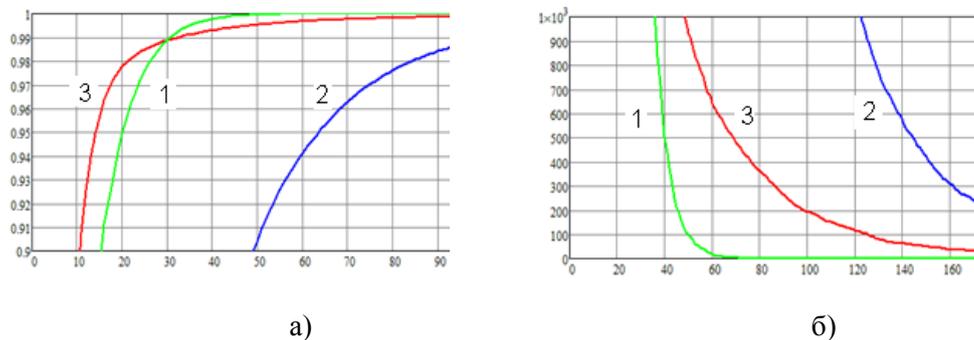


Рисунок 2 – Интегральный закон распределения величины лапласианов опорных изображений (а) и количество точек опорных изображений, в которых значение лапласиана превышает заданное значение.

Для определения сложности фоновой компоненты определим пороговое значение h_{L1} амплитуды лапласиана, соответствующее заданному значению $P_L(L) = q_1$, где величина $q_1 = 0,995 \dots$. Для общего количества точек анализируемых опорных изображений $Nr = 2 \cdot 10^5$ количество точек опорных изображений, в которых значение лапласиана превышает заданное значение $N_{Lev} = 600 \dots$.

По зависимостям $N_{Lev}(L)$, приведенным на рисунке 2,б, для различных тестовых опорных изображений, это соответствует величинам порогов h_{L1} , приведенным в таблице 1.

Таблица 1

	N_{Lev}		σ_{ref}	Величина критерия однородности
	600	1000		
Тест 1	39	36	4,6	$\sigma_{ref} \square \quad h_{L1}/\sigma_{ref} = 7,83\dots$
Тест 2	63	48	37,3	$\sigma_{ref} \square \quad h_{L1}/\sigma_{ref} = 1,28\dots$
Тест 3	139	123	48	$\sigma_{ref} > h_{L1} \quad h_{L1}/\sigma_{ref} = 2,56\dots$

В качестве критерия однородности фоновой компоненты предложено использовать соотношение величины СКО яркости изображения ФЦО с пороговым значением величины лапласиана h_{L1} : $h_2 = h_{L1}/\sigma_{ref}$,

В качестве порогового значения величины h_2 можно принять значение $h_{2нор} = 4 \dots 6$. Если величина $h_2 > h_{2нор}$, то ФЦО можно считать однородной, для которой суммарно-разностные методы выделения объектов могут быть реализованы без оценки смещения фона, т.к. корреляционные методы сравнения и метод особых точек будет сопровождаться большими ошибками. Как альтернатива, могут быть применены пороговые методы выделения изображения ДО.

Если $h_2 < h_{2нор}$, то ФЦО неоднородная и может быть применен предложенный алгоритм определения смещения фоновой компоненты. Условие неоднородности ФЦО выполняется для тестов 2 и 3.

Для неоднородного фона по последовательности $\{RL_{ref}\}$ формируются опорные области посредством стробирования лапласиана

$$LF_m(\vec{r}_{ij}, t_k) = L(\vec{r}_{ij}, t_k) R(\vec{r}_{ij} - \vec{r}_m), m=1\dots M \quad (8)$$

$$R(\vec{r}) = \begin{cases} 1, & |r_x| \cap |r_y| \leq R_{str} \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

где R_{str} - область строба, описываемая вокруг m -ной точки лапласиана, $R_{str} = 2n + 1$ - размер области (3, 5 элементов разложения).

Формируется опорное изображение посредством объединения опорных областей

$$Lref(\vec{r}_{ij}) = \bigcup_{m=1\dots M} LF_{k,m}(\vec{r}_{ij}) \quad (9)$$

выполняющее функцию эталона.

Для опорного изображения вычисляется автокорреляционный функционал (разностного или корреляционного вида)

$Kref_{k,k}(\vec{r}_{ij}) = Lref(\vec{r}_{ij}) * Lref(\vec{r}_{ij})$, определяют их глобальный экстремум:

$$Krefextr_k = \underset{\vec{r}}{extr} Kref_{k,k}(\vec{r}_{ij}) = Kref_{k,k}(0) \quad (10)$$

Для $(k + 1)$ -ого изображения ФЦО повторяются рассмотренные выше операции, и после проверки выполнения условия $h_2 < h_{2nop}$ формируется текущее изображение:

$$Lt_{k+1}(\vec{r}_{ij}) = \bigcup_{m=1..M} LF_{k+1,m}(\vec{r}_{ij}) \quad (11)$$

$$LF_{k+1,m}(\vec{r}_{ij}) = L_{k+1}(\vec{r}_{ij}) R(\vec{r}_{ij} - \vec{r}_m)$$

где

Осуществляется корреляционное сравнение опорного и текущего изображений:

$$K_{k,k+1}(\vec{r}_{ij}) = L_{k+1}ref_1(\vec{r}_{ij}) * Lt_{k+1}(\vec{r}_{ij}) \quad (12)$$

где * - знак операции корреляции (возможно использование разностного корреляционного функционала (3)).

Определяются координаты и величина глобальных экстремумов $K_{k,k+1}(\vec{r}_{ij})$

$$\Delta\vec{r}_{k,k+1} = \underset{\vec{r}}{arg\,extr} K_{k,k+1}(\vec{r}_{ij}) \quad Kextr_{k+1} = \underset{\vec{r}}{extr} K_{k,k+1}(\vec{r}_{ij}) \quad (13)$$

За величину оценки вектора смещения изображений ФЦО принимается значение $\Delta\vec{r}_{k,k+1}$. Операции по (11) ... (13) повторяются для текущих изображений последовательности $\{f_k(\vec{r}_{ij})\}$ $\Delta k = 1 \dots$, при этом определяется и анализируется величина снижения амплитуды взаимного корреляционного функционала при возрастании интервала между опорным и текущим изображениями ФЦО (Δk):

$$\Delta A_{J,\Delta k} = \frac{Kextr_{k+\Delta k}}{Krefextr_k} \quad (14)$$

При снижении величины $\Delta A_{J,\Delta k}$ до величины 0,4 – 0,6, что свидетельствует об уменьшении корреляционных связей между опорным и текущим изображением ФЦО вследствие выхода части особых областей за пределы кадра, необходима смена опорного изображения ФЦО. Это одновременно позволяет снизить влияние изменений ФЦО (особенно для облачного фона).

На рисунке 3 приведены зависимости ошибки смещения текущего кадра относительно опорного для анализируемых последовательностей изображений ФЦО (светлый). Результаты получены для $M=200$. На тех же графиках построены зависимости смещения, определенные классическим корреляционным разностным алгоритмом (темный). Из их сравнения видно, что результаты определения смещения фона предложенным методом и классическим алгоритмом сов-

падают с точностью до 1...2 э.р. Это подтверждает работоспособность предложенного метода и его применимость для различных классов ФЦО.

На рисунке 4 приведены зависимости невязки $|\delta \vec{r}_{k,k+\Delta k}^*|$ определения величины смещения фона $\Delta \vec{r}_{k,k+\Delta k}^*$ предложенным методом и классическим разностным корреляционным алгоритмом для реализованного режима переаписи опорного изображения при снижении величины $\Delta A_{J,\Delta k}$ до 0,4.

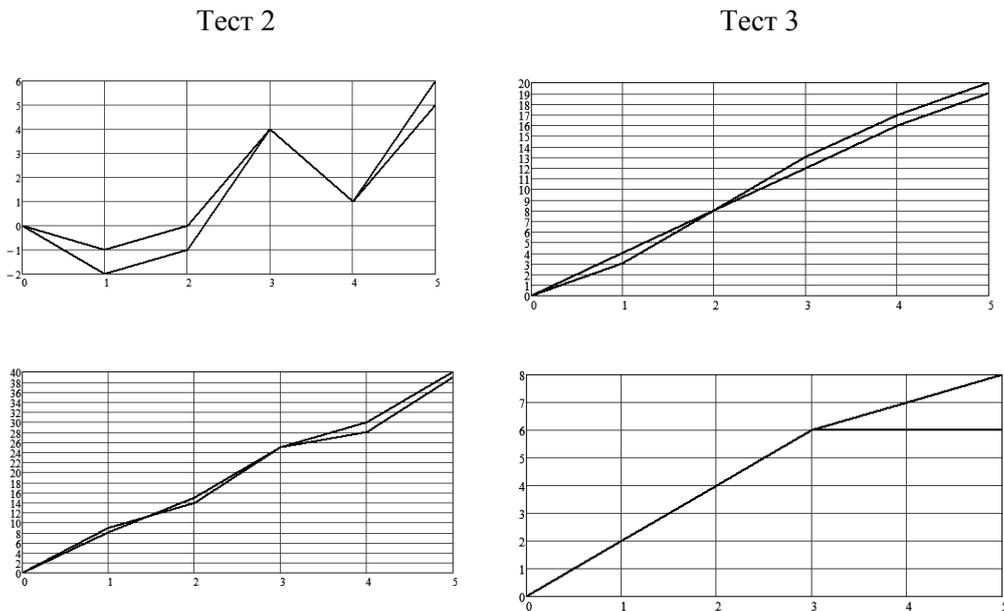


Рисунок 3 – Зависимость смещения текущего кадра относительно опорного $\Delta \vec{r}_{k,k+\Delta k}^*$ для анализируемых последовательностей изображений ФЦО (предложенный метод – красный, классический корреляционный разностный алгоритм – синий)

$$|\delta \vec{r}_{k,k+\Delta k}^*|$$

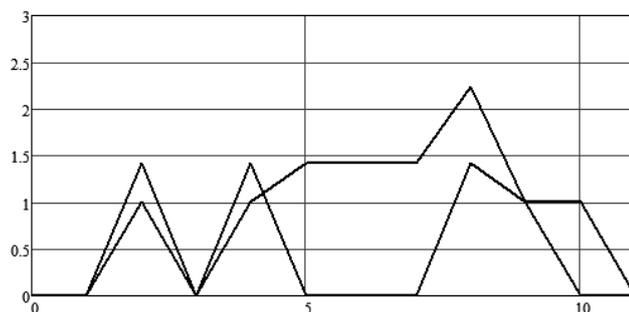


Рисунок 4 – Зависимость невязки определения смещения текущего кадра относительно опорного $|\Delta \vec{r}_{k,k+\Delta k}^*|$ для анализируемых последовательностей изображений ФЦО (темный – тест 2, светлый – тест 3).

На рисунке 5 приведен результат выделения изображения ДО по предложенному алгоритму (тест 3). Отношение сигнал-помеха в исходном изображении ФЦО 0,7, в выделенном изображении ДО 2,1.

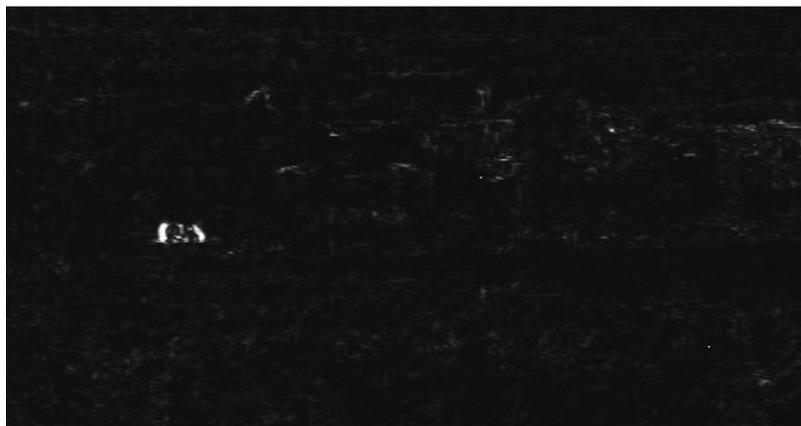


Рисунок 5 – Выделение изображения ДО

Предложен автоматический метод выделения динамических объектов при компенсации смещения фона в последовательности неоднородных динамических изображений. Проанализированы его точностные характеристики. Предложенный метод оценки смещения фона на основе корреляционного сравнения особых точек лапласианов анализируемых изображений ФЦО обладает точностными характеристиками, сравнимыми с точностью классического корреляционного разностного алгоритма при существенно меньших вычислительных затратах, что показывает возможность его использования для решения задачи выделения ДО.

Список литературы

1. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. М.: Радиотехника, 2008. 176 с.
2. Кочкин В.А. Автоматическое обнаружение динамических объектов в обзорно-поисковых оптико-электронных системах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2011. Спец. вып. Современные проблемы оптоэлектроники. С. 104-113.
3. Киричук В.С., Косых В.П., Курманбек уулу Т. Алгоритмы обнаружения движущихся малоразмерных объектов в последовательности изображений // Автоматика. 2009. Т. 45, № 1. С. 14-22.
4. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Стротов В.В. Анализ точностных характеристик методов слежения за фоновым изображением для бортовой видеоинформационной системы // Вестник РГРТА. Вып. 20. –Рязань, 2007. – С. 3 – 10.
5. Кочкин В. А. Автоматическое выделение динамических объектов на фоне подстилающей поверхности // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 12. С. 889–901

6. Фаворская М.Н. Методы поиска движения в видеопоследовательностях / М.Н. Фаворская, А.И. Пахирка, А.С. Шилов, М.В. Дамов // *Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та: сб. науч. тр. Вып. 1 (22), Ч. 2, Красноярск, 2009. С. 69–74.*
7. Стротов В.В. Оценивание параметров смещения изображения в задачах выделения движущихся объектов // *Вестник РГРТУ. Вып 23. – Рязань, 2008. – С. 30 – 37.*
8. Кочкин В.А. Автоматическое обнаружение динамических объектов на сложном неоднородном фоне // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Сер. Технические науки. Информационные технологии. 2014. № 3 (19). С. 45-53.*
9. Фаворская М.Н. Определение аффинной структуры объекта по движению / М.Н. Фаворская // *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. – Вып. 6, Красноярск, 2005. С. 86-89.*
10. Левшин В.Л. *Обработка информации в оптических системах пеленгации. М.: Машиностроение, 1978. – 168 с.*
11. Сальников И.И. Методы и алгоритмы принятия решения в задачах многоальтернативного выбора при разнородных условиях. *Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс».* - Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2016, №03(31). С.11-18.
12. Сальников И.И. Размерная селекция бинарных изображений локальных объектов при анализе аэрофотоснимков. *Журнал «Телекоммуникации». М.: Изд-во Наука и Технологии. №2. 2015, С.17-23*

УДК 621.397

ББК 32

**ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЪЕМ ЗОНЫ НАБЛЮДЕНИЯ
В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ОХРАНЫ**

**© И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)**

**INFORMATION VOLUME OF ZONE OF OBSERVATION
IN TELEVISION MEANS OF PROTECTION**

© I.I. Salnikov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В работе рассмотрен вопрос определения информационного объема в телевизионных системах охраны с учетом разрешающей способности, как минимальном расстоянии в пространстве, когда два объекта наблюдения воспринимаются отдельно. При этом, разрешающая способность определяет интервал дискретизации. Телевизионные системы охраны работают в пассивном режиме и характеризуются возможностью обнаружения нарушителя, измерением пространственного положения и классификацией нарушителя. Трехмерные многоальтернативные телевизионные системы характеризуются большой сложностью обработки сигналов и возможностью классификации объектов.

Ключевые слова: информационный объем, телевизионные системы охраны, обнаружение, разрешающая способность

In work the problem of the definition of information volume in television systems of protection is considered in view of a resolving power, as a minimum distance in space, when two plants of observation are perceived separately. Thus, the resolving power determines an interval of digitization. The television systems of protection work in a passive condition and are characterized by a possibility of a detection of the infringer, measurement of attitude and classification of the infringer. Three-dimensional mul-

tialternate television systems are characterized by large complexity of handling of signals and possibility of a classification of plants.

Key words: information volume, television systems of protection, detection, resolving power

Телевизионные технические средства охраны (ТВТСО) в настоящее время успешно развиваются, охватывая все новые области применения. При этом информационные возможности ТВТСО связаны с разрешающей способностью телевизионных камер (ТВК) по различным направлениям и оцениваются числом степеней свободы, характеризующими объем охраняемой зоны. При этом, информационные возможности ТВК определяются числом чувствительных элементов в матрице ТВК, углом обзора объектива и высотой установки.

В современных ТВТСО телекамеры являются не только средством формирования изображения, но и устройствами обнаружения и классификации нарушителей охраняемой зоны. В этом смысле ТВК превратились в телевизионные датчики (ТВД).

ТВД можно отнести к системам обработки **пространственно-временных сигналов** (ПВС) $S(x,y,z,t)$, в качестве которых выступает изменяющиеся во времени изображение [1]. ПВС в общем случае может содержать в себе огромное количество информации. В результате преобразований исходного ПВС часть информации теряется в трактах обработки и в реальных системах получается результат либо с конечной точностью, либо с конечной вероятностью.

При работе ТВД невозможно количественно определить ценность информации, так ценность изображений имеет субъективный характер. Поэтому рассмотрим **информационную емкость** носителя информации как некоторую потенциальную величину, которой характеризуется регистрируемое изображение и система его обработки. Фундаментальным инвариантом информационной емкости системы является число $N_{св,0}$ полных степеней свободы ПВС, с которым работает система. Никакими методами невозможно получить большую информацию, чем та, которая определяется полным числом информационных степеней свободы [2].

Пространственно-временной сигнал включает в себя пространственные и временные степени свободы. В пределах полного числа информационных степеней свободы можно взаимно менять соотношения между пространственными и временными свободой, сохраняя при этом полное число $N_{св,0}$.

Степени свободы ПВС определяются через теорему отсчетов Котельникова В.А., которая была опубликована в 1933 г. [3], из которой вытекает следующее. Для однозначного представления функции с ограниченным спектром с помощью эквивалентного набора отсчетов достаточно принять во внимание только максимальную частоту спектра F_{max} . Функции, обладающие конечной шириной спектральной полосы, образуют специальный класс функций, которые не имеют разрывов, острых выбросов. Именно такими являются функции, описывающие реальные сигналы и результаты любого физического эксперимента.

По **теореме Котельникова** исходный сигнал с ограниченным спектром может быть представлен суммой отсчетов, взятых через интервал дискретизации Δt_n (рисунок 1):

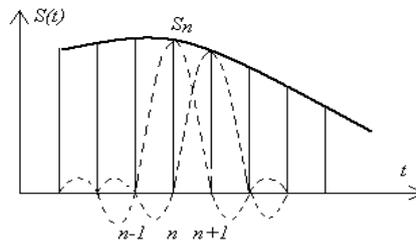


Рисунок 1 – Теорема отсчетов Котельникова

$$S(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} S_n \left(\frac{n\pi}{\omega_m} \right) \frac{\sin(\omega_m t - n\pi)}{\omega_m t - n\pi}, \quad (1)$$

где $S_n = S(n\pi / \omega_m)$ - отсчеты исходного сигнала, взятые через интервал

$$\Delta t_n = \pi / \omega_m = 1 / 2F_{\max} \quad (2)$$

Количество степеней свободы для временного сигнала будет определяться числом отсчетов на интервале наблюдения T :

$$N_T = \frac{T}{\Delta t_n} + 1 = 2TF_{\max} + 1, \quad (3)$$

где единица прибавляется как результат наличия независимого параметра, определяющего уровень отсчета, относительно которого заданы все значения составляющих S_i [2]. Чаще всего в системах обнаружения и измерения параметров объекта используется такая характеристика системы как разрешающая способность.

Разрешающая способность – это минимальное расстояние между объектами, на котором два объекта воспринимаются системой отдельно. Если количество степеней свободы трактовать как число отсчетов на характеристике обнаружения как функции изменения некоторого параметра в зависимости от времени или пространственных координат, то интервал дискретизации может быть определен как разрешающая способность системы.

С другой стороны, если в качестве основной характеристики системы используется разрешающая способность по измеряемому параметру, то для определения количества степеней свободы по формуле (3) следует разрешающую способность использовать в качестве интервала дискретизации.

Количество временных степеней свободы влияет на информационную емкость ИТС и их следует учитывать там, где для формирования сигналов тревоги используются временные параметры, например время задержки принятого сигнала по отношению к излученному в свободном пространстве. В ТВТСО, как частном случае информационных технических системах, часто не используют временные характеристики сигнала и тем самым в информационной емкости многих средств обнаружения количество временных степеней свободы будет отсутствовать. Наибольшее распространение в ТВТСО получило использование пространственных параметров для извлечения информации о нарушениях в охраняемой зоне [4]. Следует заметить, что часть систем охраны регистрирует только факт нарушения охраняемой зоны. При этом траектория или место пересечения остаются неизвестными.

Теорема отсчетов (1) с успехом используется и для пространственных сигналов, причем независимо по трем ортогональным направлениям. При определении интервала пространственной дискретизации информационного сигнала в соответствии с (2) требуется определить максимальную частоту в пространственном спектре сигнала, что может вызвать существенные затруднения. В этом случае следует воспользоваться разрешающей способностью по соответствующему ортогональному направлению и использовать эту характеристику для определения числа пространственных степеней свободы. Например, для направления по оси Ox число степеней свободы в пределах охраняемой зоны X будет равно:

$$N_X = X/\Delta x_n, \quad (4)$$

где Δx_n – разрешающая способность по направлению Ox .

В нашем случае необходимо учесть количество временных степеней свободы N_T , количество пространственных степеней свободы N_V , которые следует определить через количество чувствительных элементов пространства, реагирующих на нарушение охраняемой ТВД зоной. Кроме того, необходимо учесть число состояний отсчета N_D , характеризующего вид обнаружения – $D \in \{B - \text{бинарное}, M - \text{многоальтернативное}\}$. Тогда информационный объем охраняемой зоны может быть описан выражением:

$$I_{V,D} = \log_2(N_T N_V N_D), \quad (5)$$

где $V \in \{0,1,2,3\}$ – индекс мерности пространства обнаружения.

Работу ТВД в составе ТВТСО можно отнести к **трехмерной многоальтернативному техническому средству охраны**, когда в пространстве охраняемой зоны создается информационный объем анализа. ТВТСО работают в пассивном режиме и характеризуются не только возможностью обнаружения нарушителя, но и измерением пространственного положения и классификацией нарушителя. Трехмерные многоальтернативные ТСО характеризуются большой сложностью обработки сигналов и возможностью классификации объектов.

Информационный объем без учета влияния земной поверхности.

Определим информационный объем охраняемой зоны для ТВД. В общем виде без учета влияния земной поверхности информационный пространственный объем будет представлять собой пирамиду с прямоугольным основанием с размерами X_m, Y_m (рисунок 2). Здесь учитывается расширение зоны обзора с увеличением дальности, а также учитывается прямоугольный растр наблюдаемого ТВК изображения, R_m – максимальная дальность действия ТВД, R_H – расстояние до нарушителя, $x_H 0_H y_H$ – плоскость нахождения нарушителя, $x_m 0_m y_m$ – плоскость на максимальной дальности действия ТСО.

С увеличением дальности пространственный эквивалент пикселя, воспринимаемый матрицей ТВК, увеличивается, то есть по пространственным координатам разрешающая способность $\Delta x, \Delta y$ падает. Максимальная дальность R_m будет определяться состоянием, когда на размер человека по вертикальному направлению Oy будет приходиться $10 \div 20$ пикселей [5]. При дальнейшем уменьшении числа пикселей, приходящихся на изображение человека, становится невозможным классифицировать человека, чтобы отличить его от других объектов.

Для определения информационной емкости охраняемой зоны необходимо учесть, что число степеней свободы по направлениям Ox и Oy не изменяется от дальности r , а определяется числом элементов растра, формируемого

матрицей ТВК. Поэтому информационная емкость охраняемой зоны без учета земной поверхности будет равна:

$$I_{\text{ОЗ}} = \log_2 \left\{ N_x N_y \frac{(R_m - R_0)}{\Delta R} \right\}, \quad (6)$$

где ΔR – разрешающая способность по дальности, которая определяется используемым методом измерения дальности.

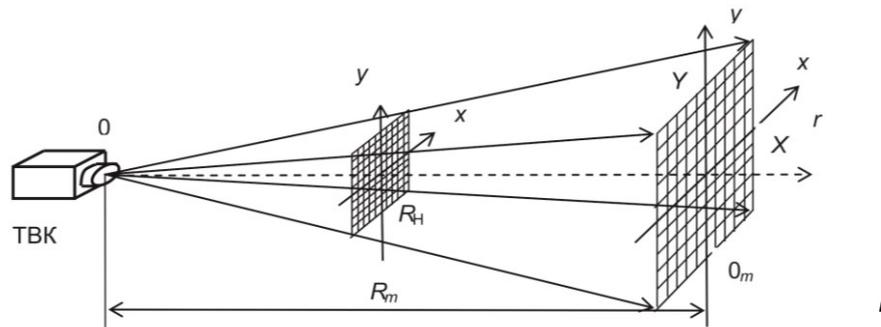


Рисунок 2 – Пространственный объем охраняемой зоны

Информационный пространственный объем с учетом влияния поверхности земли. Выше определялся потенциальный информационный пространственный объем охраняемой зоны. В реальности информационный объем уменьшается за счет различного рода ограничений. Отметим основные ограничения для различных направлений:

- а) для вертикальной плоскости:
 - снизу – поверхностью земли;
 - сверху – ростом человека в предположении, что нарушитель идет во весь рост;
- б) для горизонтальной плоскости:
 - углом обзора телекамеры $\theta_{\text{ТВК}}$;
- в) по дальности:
 - максимальной дальностью R_m , когда размер человека-нарушителя на изображении уменьшается до нескольких пикселей ($10 \div 20$);
 - минимальной дальностью R_0 , до которой на изображении человека среднего роста имеется невидимая верхняя часть.

При горизонтальном расположении ТВК для равномерного ограничения сверху и снизу необходимо размещать ТВК на высоте, равной половине средней высоты человека-нарушителя $h_{\text{ТВК}} = h_{\text{Н}} / 2$. Реально ТВК устанавливают на большей высоте, чтобы исключить возможность воздействия нарушителя на ТВК контактным образом. В этом случае ТВК должна быть установлена наклонно в вертикальной плоскости под углом θ_h .

С учетом указанных выше ограничений и условий размещения ТВК на рисунке 3 показан информационный пространственный объем, который следует далее выразить через параметры ТВК: высоту установки $h_{\text{ТВК}}$, угол обзора ТВК в вертикальной плоскости $\theta_{\text{ТВК}}$, угол наклона ТВК в вертикальной плоскости θ_h и средний рост нарушителя $h_{\text{Н}}$.

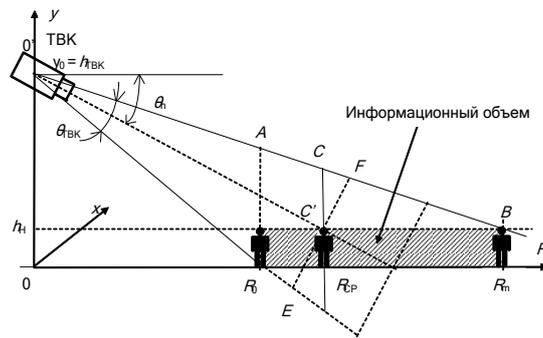


Рисунок 3 – Определение информационного пространственного объема в вертикальной плоскости

На рисунке 4 показан вид экрана с изображением нарушителей, находящихся на разной дальности.

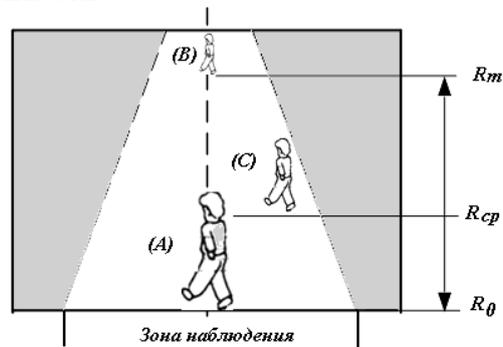


Рисунок 4 – Вид экрана при наблюдении за охраняемой зоной

Определим информационный пространственный объем для вертикальной плоскости (рисунок 3). Минимальное расстояние, определяемое по условию нахождения ног нарушителя на нижней границе зоны обзора (положение А) равно:

$$R_0 = h_{\text{ТВК}} \operatorname{ctg} \left(\theta_h + \frac{\theta_{\text{ТВК}}}{2} \right). \quad (7)$$

Максимальное расстояние, определяемое по условию нахождения верхней части нарушителя (головы) на верхней границе зоны обзора (положение В) равно:

$$R_m = (h_{\text{ТВК}} - h_H) \operatorname{ctg} \left(\theta_h - \frac{\theta_{\text{ТВК}}}{2} \right). \quad (8)$$

Определим разрешающую способность (элемент информационного пространственного объема) по оси $0y$. За счет пространственных ограничений в вертикальной плоскости число степеней свободы будет существенно меньше величины $N_{y,}$, входящей в (6). На рисунке 4 эта область показана в заштрихованном виде.

На минимальном расстоянии R_0 число пикселей, которые будет захватывать человек-нарушитель ростом h_H будет максимальным, а на максимальном расстоянии R_m число пикселей, а следовательно, число степеней свободы, будет минимальным.

В следствие линейности пространственных преобразований разрешающую способность Δy , зависящую от дальности, определим на среднем расстоянии R_{CP} с учетом того, что средний рост человека-нарушителя h_H не меняется.

Наклонное расположение ТВК на высоте $h_{ТВК}$, существенно усложняет задачу. Определим число пикселей, приходящихся на изображение человека, по направлению CD . Из рисунка 4 определим расстояние EF :

$$EF = 2 \cdot 0' C' \operatorname{tg} \frac{\theta_{ТВК}}{2} = \frac{2(h_{ТВК} - h_H)}{\sin \theta_h} \operatorname{tg} \frac{\theta_{ТВК}}{2} . \quad (9)$$

На размер EF приходится N_y пикселей, которые определяются числом элементов по оси Oy в матрице ТВК. Тогда по направлению EF разрешающая способность будет равна:

$$\Delta y' = \frac{EF}{N_y} . \quad (10)$$

На размер CD также приходится N_y пикселей. Размер Δy по направлению CD будет больше, чем $\Delta y'$, так как это направление находится под углом к направлению EF . Для определения Δy будем считать, что угол $C'ED = 90^\circ$, что вполне допустимо, так как $R_m \gg h_{ТВК}$. Тогда

$$CD = 2 \left(\frac{EF}{2} \right) \cdot \frac{1}{\cos \left(\frac{\theta_{ТВК}}{2} \right)} = \frac{EF}{\cos \left(\frac{\theta_{ТВК}}{2} \right)} . \quad (11)$$

Разрешающая способность в вертикальной плоскости с учетом (11) будет равна:

$$\Delta y = \frac{CD}{N_y} = \frac{2(h_{ТВК} - h_H)}{N_y \sin \theta_h \cos \frac{\theta_{ТВК}}{2}} \operatorname{tg} \left(\frac{\theta_{ТВК}}{2} \right) . \quad (1.12)$$

В горизонтальной плоскости ограничением будет только зона обзора, определяемая углом $\theta_{ТВК}$ (рисунок 5).

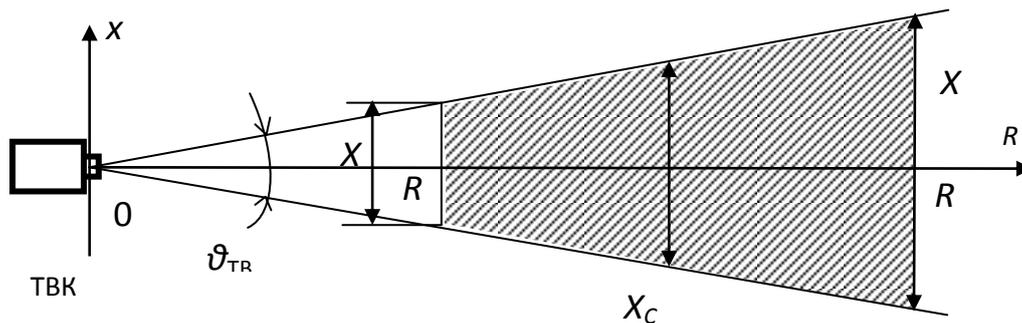


Рисунок 5 – Определение информационного пространственного объема в горизонтальной плоскости

Трапецевидное сечение пространственного объема заменяется прямоугольником с шириной, равной среднему значению X_{CP} :

$$X_{CP} = (R_m + R_0) \operatorname{tg} \frac{\theta_{\text{ТВК}}}{2}, \quad (13)$$

так как увеличение размеров по оси $0x$ происходит линейно с увеличением дальности R . Тогда информационный пространственный объем охраняемой зоны с учетом рисунков 4 и 6 и выражений (8), (9) и (13) будет равен:

$$\begin{aligned} Q_{O3} &= X_{CP} (R_m - R_0) \cdot h_H = \\ &= h_H \left[(h_{\text{ТВК}} - h_H)^2 \operatorname{ctg}^2 \left(\theta_h - \frac{\theta_{\text{ТВК}}}{2} \right) - (h_{\text{ТВК}})^2 \operatorname{ctg}^2 \left(\theta_h + \frac{\theta_{\text{ТВК}}}{2} \right) \right] \operatorname{tg} \frac{\theta_{\text{ТВК}}}{2}. \end{aligned} \quad (14)$$

Оценка потенциальной информационной емкости охраняемой зоны ТВД с учетом принятых допущений примет вид:

$$I_{O3} = \log_2 \left(\frac{Q_{O3}}{\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta R} \right), \quad (15)$$

где Δx , Δy – разрешающая способность (элемент объема) по оси $0x$ и $0y$; ΔR – разрешающая способность по дальности, определяемая методом измерения дальности, потенциально $\Delta R = \Delta X_H$, то есть поперечному размеру человека-нарушителя.

Информационная емкость охраняемой зоны с учетом (12), (14) и (15) будет равна:

$$I_{O3} = \log_2 \left\{ \frac{N_x N_y Q_{O3} \sin \theta_h \cos \frac{\theta_{\text{ТВК}}}{2}}{(R_m + R_0) \operatorname{tg}^2 \frac{\theta_{\text{ТВК}}}{2} 2(h_{\text{ТВК}} - h_H) \Delta R} \right\}, \quad (16)$$

или с учетом (7), (8) через параметры установки ТВД, получим:

$$I_{O3} = \log_2 \left\{ \frac{N_x N_y Q_{O3} \sin \theta_h \cos \frac{\theta_{\text{ТВК}}}{2}}{2 \left[(h_{\text{ТВК}} - h_H) \operatorname{ctg} \left(\theta_h - \frac{\theta_{\text{ТВК}}}{2} \right) - h_{\text{ТВК}} \operatorname{ctg} \left(\theta_h + \frac{\theta_{\text{ТВК}}}{2} \right) \right] \operatorname{tg}^2 \frac{\theta_{\text{ТВК}}}{2} (h_{\text{ТВК}} - h_H) \Delta R} \right\}. \quad (17)$$

То есть, информационная емкость охраняемой зоны при наклонно расположенном ТВД зависит от совокупности параметров:

$$I_{O3} = f \left\{ N_x, N_y, h_{\text{ТВК}}, h_H, \theta_h, \theta_{\text{ТВК}} \right\} \quad (18).$$

Определим диапазон значений I_{O3} для реальных параметров ТВД и параметров установки ТВД:

– **число элементов в фотоприемной матрице** N_x x N_y . Минимальное значение, которое еще встречается в описании ТВК – 288 x 144, меньше не имеет смысла использовать, так как нормального изображения уже не получить. Современные фотоприемные матрицы могут иметь до 1024 x 768 элементов, что и возьмем за максимальное значение;

– **высота установки ТВК** $h_{\text{ТВК}}$. Минимальное значение возьмем $h_{\text{ТВК}, \min} = 2$ м, а максимальное $h_{\text{ТВК}, \max} = 4$ м, то есть выше роста человека;

– **средний рост человека** возьмем $h_H = 1,7$ м;

– **угол обзора ТВК** $\theta_{\text{ТВК}}$. Для охранных систем, когда стараются сделать максимальную дальность более 50 м, необходимо брать длиннофокусные объективы с малым углом обзора. Возьмем $\theta_{\text{ТВК}} = 10^\circ$, при котором на расстоянии $R_m = 50$ м зона обзора в поперечном направлении будет равна $X_m = 2R_m \operatorname{tg}(\theta_{\text{ТВК}}/2) = 7,87$ м, что вполне соответствует реальности;

– диапазон изменения угла наклона ТВК требует отдельного рассмотрения. Из рисунка 4 следует, что минимальный угол наклона установки ТВК $\theta_{h,\min}$ должен быть не равен и больше $\theta_{ТВК}/2$, то есть $\theta_{h,\min} > 5^\circ$ (при $\theta_{h,\min} = 5^\circ$ $\text{ctg}(\theta_h + \theta_{ТВК}/2) \rightarrow \infty$ в выражении (14)). Это соответствует расположению верхней границы обзора ТВК вдоль поверхности земли. Максимальный угол наклона ТВК будет определяться равенством 0 разности в выражении (14):

$$\left[(h_{ТВК} - h_H)^2 \text{ctg}^2 \left(\theta_h - \frac{\theta_{ТВК}}{2} \right) - (h_{ТВК})^2 \text{ctg}^2 \left(\theta_h + \frac{\theta_{ТВК}}{2} \right) \right] = 0,$$

или
$$\frac{\text{ctg}(\theta_h - \frac{\theta_{ТВК}}{2})}{\text{ctg}(\theta_h + \frac{\theta_{ТВК}}{2})} = \frac{h_{ТВК}}{h_{ТВК} - h_H}, \quad (19)$$

что соответствует трансцендентному уравнению, которое решим графически для следующих значений параметров: $h_{ТВК} = 4$ м; $h_H = 1,7$ м; $\theta_{ТВК} = 10^\circ$. Тогда для минимальной высоты получим $\theta_H = 20^\circ$, это для крайнего случая, когда $Q_{OЗ} = 0$. Исходя из выше сказанного возьмем $\theta_{h,\min} = 6^\circ$ для максимального объема $Q_{OЗ}$, а $\theta_{h,\max} = 15^\circ$ для минимального объема $Q_{OЗ}$.

Прежде чем оценить информационную емкость охраняемого объема определим диапазон изменения пространственного объема:

– минимальное значение $Q_{OЗ,\min}$ получим для $h_{ТВК} = 4$ м и $\theta_{h,\max} = 15^\circ$, когда ТВК максимально наклонена вниз, из (14) следует $Q_{OЗ,\min} = 8 \text{ м}^3$;

– максимальное значение $Q_{OЗ,\max}$ получим для $h_{ТВК} = 4$ м и $\theta_{h,\min} = 6^\circ$, когда ТВК минимально наклонена вниз, из (14) следует $Q_{OЗ,\max} = 2780 \text{ м}^3$.

Определим далее диапазон изменения информационной емкости охраняемой зоны, используя выражение (17):

– для минимального случая при $N_x \times N_y = 288 \times 144$; $h_{ТВК} = 4$ м; $Q_{OЗ} = 8 \text{ м}^3$; $\theta_h = 15^\circ$; $\theta_{ТВК} = 10^\circ$; $\Delta R = 1$ получим:

$$I_{OЗ,\min} = \log_2 \left\{ \frac{288 \cdot 144 \cdot 8 \sin 15^\circ \cos 5^\circ}{2[2,3 \text{ctg} 10^\circ - 4 \text{ctg} 20^\circ] \cdot \text{tg}^2 5^\circ \cdot 2,3} \right\} = 20,2; \quad (20)$$

– для максимального случая при $N_x \times N_y = 1024 \times 768$; $h_{ТВК} = 4$ м; $Q_{OЗ} = 2780 \text{ м}^3$;

$\theta_h = 6^\circ$; $\theta_{ТВК} = 10^\circ$; $\Delta R = 1$ получим:

$$I_{OЗ,\max} = \log_2 \left\{ \frac{1024 \cdot 768 \cdot 2780 \sin 6^\circ \cos 5^\circ}{2[2,3 \text{ctg} 1^\circ - 4 \text{ctg} 11^\circ] \cdot \text{tg}^2 5^\circ \cdot 2,3} \right\} = 25,8. \quad (21)$$

Из (20) и (21) следует, что информационная емкость охраняемой зоны изменяется в пределах $20,2 \div 25,8$, в чем проявляется сильное сжимающее действие логарифма с основанием 2 в (17).

Список литературы

1. Сальников И.И. *Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений*. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 248 с.
2. Сороко Л.М. *Основы голографии и когерентной оптики*. - М.: Наука, 1971.
3. Котельников В.А. *Теория потенциальной помехоустойчивости*. – М.: Госэнергоиздат, 1956 г.

4. Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. - М.: Физматлит, 2011 – 252 с.
5. Сальников И.И. Определение необходимого числа пикселей для распознавания изображения человека. – Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 03(25), 2015. – С.60-63.
6. Сальников И.И. Методы и алгоритмы принятия решения в задачах многоальтернативного выбора при разнородных условиях. - Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 03(31), 2016. – С.11-18.
7. Кочкин В.А., Кочкин Н.А. Влияние спектра сигнала на структуру тепловизионных изображений неразрешаемых объектов в системах «смотрящего типа». – Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 03(25).- Т.1., 2015. – С.34-41.
8. Кочкин В.А. Автоматическое обнаружение динамических объектов при проективных искажениях изображений. - Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 10(14), 2013. – С.44-52.

УДК 004.93
ББК 30

**ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ
3D ИЗОБРАЖЕНИЯ: ГИПЕРТРЕЙС-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ**

- © *Н.Г. Федотов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*
© *А.А. Сёмов, ООО «КомХэлф» (г. Пенза, Россия)*
© *А.В. Моисеев, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

**WAYS TO REDUCE THE COMPUTATION TIME OF 3D IMAGE
FEATURES: HYPERTRACE -TRANSFORM**

- © *N.G. Fedotov, Penza State University (Penza, Russia)*
© *A.A. Syemov, LLC «KomHelf» (Penza, Russia)*
© *A.V. Moiseev, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В данной статье показаны результаты, полученные с помощью нового геометрического метода анализа и распознавания 3D изображений – гипертрейс-преобразование. Кратко описывается математическая модель предлагаемого метода. Происходит дальнейшее развитие теории гипертриплетных признаков 3D изображения с целью ускорения их вычисления, что особенно актуально в различных прикладных задачах. Выявлены и проанализированы пути сокращения времени работы распознающей системы за счёт ускорения вычислений гипертриплетных признаков и особенности техники сканирования. Показаны конкретные практические примеры путей сокращения времени работы распознающей системы. Реализация предложенных способов сокращения времени работы распознающей системы позволяет увеличить скорость распознавания 3D изображений до режима реального времени.

Ключевые слова: 3D изображение, гипертрейс-преобразование, гипертрейс-матрица, гипертриплетный признак, опорная сетка на сфере, ускорение вычислений, стохастическое распознавание.

In this article the results obtained using a new geometric method of the 3D images analysis and recognition are given (hypertrace-transform). A mathematical model of the proposed method is briefly

described. Theory of 3D images hypertriplet features with analytical structure is further developed in order to accelerate their calculation, which is especially important in various applications. Ways to reduce recognition system running time due to the hypertriplet features calculations acceleration and scan technique peculiarity are revealed and analyzed. Specific practical examples of ways to reduce recognition system running time are shown. The implementation of the proposed ways to reduce recognition system running time allow to increase 3D image recognition speed up to real-time.

Key words: 3D image, hypertrace-transform, hypertrace-matrix, hypertriplet feature, support grid on the sphere, acceleration calculations, stochastic recognition.

E-mail: fedotov@pnzgu.ru, matematik_aleksey@mail.ru, moigus@mail.ru

Высокий уровень развития машинных и компьютерных технологий позволяет применять методы трехмерного моделирования и конструирования в различных областях, таких, как архитектура и строительство, медицина и биология, химия и физика, дизайн и реклама, промышленность и т.п.

Актуальность применения трехмерного моделирования в различных областях науки и техники объясняется тем, что оно позволяет извлекать информацию, характерную только для пространственных объектов, которая не может быть отражена на плоских изображениях и проекциях (например, особенности формы или поверхности тела). В современных условиях потребность в системах распознавания реальных трехмерных (далее 3D) объектов сильно возросла, особенно в таких областях науки и техники, как робототехника, космонавтика, искусственный интеллект, военная промышленность и т.п. [1-2].

В связи со стремительным развитием научно-технического прогресса, увеличением темпом промышленности и производства, важной становится задача повышения быстродействия сканирующей системы, особенно при получении высококачественных и точных моделей объектов окружающей действительности.

В статье рассматривается дальнейшее развитие теории гипертриплетных признаков, построенной на основе геометрического метода сканирования и распознавания 3D изображений – гипертрейс-преобразование. Рассматриваются вопросы сокращения времени работы распознающей системы за счёт особенности техники сканирования и ускорения вычислений гипертриплетных признаков.

1. Математическая модель гипертрейс-преобразования

Сканирование 3D изображения будет осуществляться сетками параллельных плоскостей. Пусть F – исходная модель 3D изображения. Определим плоскость $B(\eta, r) = \{x | x^T \cdot \eta = r\}$ как касательную к сфере с центром в начале координат и с радиусом r , проходящую через заданную точку X и на расстоянии r от начала координат с заданными углами ω и φ , где $\eta = [\cos \omega \cdot \sin \varphi, \sin \omega \cdot \sin \varphi, \cos \varphi]$ – единичный вектор в R^3 , r , ω , φ – сферические координаты.

Стандартный перебор всех пар углов ω и φ , которыми определяется каждая сканирующая сетка параллельных плоскостей, в топологическом смысле для непрерывного случая дает модель концентрических сфер с центром в начале координат. Каждой сканирующей сетке плоскостей на единичной сфере сопоставим точку, которая будет являться точкой касания со сферой плоскости, параллельной плоскостям сетки. Множество точек на сфере образует опорную сетку (рисунок 1,б).

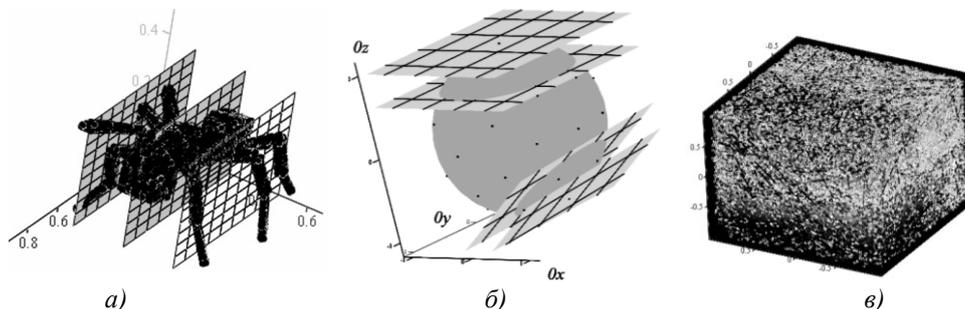


Рисунок 1 – а) сканирование 3D изображения; б) опорная сетка на сфере и соответствующие ей сетки сканирующих параллельных плоскостей; в) графический пример гипертрейс-матрицы (оттенок обозначает числовое значение).

Сканирование 3D изображения производится сеткой параллельных плоскостей с расстоянием Δr между плоскостями и заданными углами ω и φ (рис. 1а). Взаимное положение изображения F и каждой сканирующей плоскости $B(\eta(\omega, \varphi), r)$ характеризуется числом G : $G = \text{HyperT}(F \cap B(\eta(\omega, \varphi), r))$, которое характеризует признак сечения $\Pi(F_{sect})$.

Сканирование сеткой параллельных плоскостей повторяется для каждого нового значения угла обзора, определяемого выражениями $\omega + \Delta\omega$ и $\varphi + \Delta\varphi$, с тем же шагом Δr между сканирующими плоскостями. Углы ω и φ изменяются согласно узлам опорной сетки. Стоит отметить, что пара углов (ω, φ) однозначно определяет узел опорной сетки, соответствующий единственной касательной плоскости и сетке сканирующих параллельных плоскостей [3].

Таким образом, тройке $(\omega_i, \varphi_j, r_k)$ соответствует элемент матрицы ЗТМ с номером (i, j, k) и значением $\Pi(F_{sect})$, которое характеризует признак сечения: $F_{sect} = F \cap B(\eta(\omega_i, \varphi_j), r_k)$. Поэтому результаты сканирования удобно занести в гипертрейс-матрицу, у которой ось 0ω направлена горизонтально, ось 0φ – вертикально, ось $0r$ – вглубь (рис. 1в).

Правила нумерации узлов опорной сетки (на основе которых формируется гипертрейс-матрица) могут быть различными. Методы построения гипертрейс-матриц делятся в зависимости от использования ключевых точек – узлов опорной сетки, которые однозначно идентифицируются вне зависимости от пространственной ориентации 3D объекта, что подробно описано в [4].

Далее, с помощью функционалов $\text{Hyper}\Theta$, $\text{Hyper}\Omega$ и HyperP данная матрица сворачивается в число – значение признака $\text{Res}(F)$ исходной 3D модели изображения в виде композиции четырех функционалов [5]:

$$\text{Res}(F) = \text{Hyper}\Theta \circ \text{Hyper}\Omega \circ \text{HyperP} \circ \text{HyperT}(F_{sect}). \quad (1)$$

Изображение фигуры сечения F_{sect} сканируется решеткой параллельных прямых $l(\rho, \theta)$ с дискретным шагом $\Delta\rho$ между линиями под различными углами θ до завершения полного оборота обхода в 2π радиан. Результаты сканирования аналогичным образом формируются в двумерную трейс-матрицу, у которой ось 0ρ направлена вертикально, а ось 0θ – горизонтально [6].

Признак 2D изображения получается после сворачивания строк и столбцов трейс-матрицы и имеет структуру в виде композиции трех функционалов [7]:

$$\Pi(F_{sect}) = \text{HyperT}(F_{sect}) = \Theta \circ P \circ T(F_{sect} \cap l(\theta, \rho)). \quad (2)$$

Объединяя полученные формулы, окончательно получаем следующую аналитическую структуру гипертриплетного признака 3D изображения:

$$Res(F) = Hyper\Theta \circ Hyper\Omega \circ HyperP \circ HyperT(\Theta \circ P \circ T(F_{sect} \cap l(\theta, \rho))). \quad (3)$$

Таким образом, благодаря композиционной структуре функционалов, входящих в структуру $\Pi(F_{sect})$ и $Res(F)$, возможно получение большого числа признаков, свойства которых можно регулировать. Ниже приведен пример признака, инвариантного к повороту, переносу и масштабным преобразованиям 3D изображения:

$$Res(F) = Hyper\Theta \circ Hyper\Omega \circ HyperP \circ HyperT(\Theta \circ P \circ T), \quad (4)$$

$$\text{где } T = \sum_t f(\theta, \rho, t), \quad P = (\min_i g(\theta, \rho_i) + \max_i g(\theta, \rho_i))/2, \quad \Theta = mean_{\theta} g(\theta),$$

$$HyperT = G(\omega, \varphi, r), \quad HyperP = 1 / \min_r G(\omega, \varphi, r), \quad Hyper\Omega = \max_{\varphi} G(\omega, \varphi),$$

$$Hyper\Theta = \sum_{\omega} G(\omega) / \max G(\omega), \quad f(\theta, \rho, t) - \text{длина } t\text{-го отрезка, высекаемого } \rho\text{-ой}$$

прямой под θ -ым углом наклона в плоскости сечения F_{sect} , $g(\theta, \rho)$ – трейс-матрица 2D изображения сечения, $G(\omega, \varphi, r)$ – гипертрейс-матрица исходного 3D изображения.

2. Ускорения распознавания 3D изображения за счёт особенности техники сканирующей системы. Благодаря композиционной структуре формируемых гипертриплетных признаков предобработка, обработка и постобработка изображения осуществляется в одной технике сканирования, что позволяет сократить время выполнения работы распознающей системы. Так, результаты сканирования 3D изображения обрабатываются при помощи гипертрейс функционала $HyperT$, который вычисляет признак 2D сечения и осуществляет предварительную обработку данных сканирования. Функционалы $HyperP$, $Hyper\Theta$ и $Hyper\Omega$ выполняют последующую обработку полученной гипертрейс-матрицы, получая окончательный признак $Res(F)$ исходной пространственной модели F .

Аналогичная ситуация наблюдается и в плоскостях сечений исходного 3D изображения, высекаемых сканирующей сеткой параллельных плоскостей. Трейс функционал T отвечает за результаты сканирования сечения прямыми, а функционалы P и Θ – обрабатывают строки и столбцы трейс-матрицы TM .

Стоит отметить, что при решении задач анализа и распознавания 3D изображений стохастическое сканирование со случайными параметрами обладает заметными преимуществами, чем использование детерминированных параметров сканирования. Так, при анализе и распознавании двумерных изображений сканирование со случайными параметрами улучшает соотношение «надежность – быстродействие» по сравнению с фиксированной разверткой [8]. Аналогичное свойство справедливо также и при анализе и распознавании 3D изображений, что было показано в [9].

Кроме того, любой заранее предопределённый алгоритм построения равномерной сетки на сфере для выполнения условия инвариантности гипертриплетных признаков к повороту по скорости выполнения будет заметно уступать генерации случайных точек с равномерным распределением по поверхности сферы.

Гипертрейс-преобразование позволяет производить модификацию работы алгоритма сканирования путём изменения видов распределения переменных ω , φ , r и θ , ρ , заданных в сферических и полярных координатах соответственно.

Время работы распознающей системы напрямую связано с количеством сканируемых плоскостей и прямых. Одним из способов ускорения распознавания 3D изображения является уменьшение его размеров. Однако, данный подход приводит к падению точности вычисления признаков, и при этом требуется выбор оптимального размера изображения. Для гипертриплетных признаков вместо изменения размеров изображения возможно увеличение шага сканирования за счёт изменения параметров ω , φ , r и θ , ρ , что приводит к уменьшению размерности гипертрейс-матрицы и, соответственно, к ускорению вычислений. Уменьшение размерности матрицы в меньшей мере влияет на точность вычисления признаков. Кроме того, изменение шага сканирования не требует дополнительных операций над 3D изображением, что положительно сказывается на скорости обработки результатов сканирования.

Учитывая тот факт, что гипертрейс-матрица формируется на основе заданных правил нумерации и сегментации узлов опорной сетки, можно заключить следующий вывод. Целесообразно для каждого узла опорной сетки осуществить сканирование 3D изображения только один раз, чем несколько раз сканировать изображение для некоторых узлов при более сложных методиках обхода и сегментации точек опорной сетки. Другими словами, сначала лучше сформировать двумерный аналог гипертрейс-матрицы: глубинные строки будут соответствовать набору параллельных сечений, сохраняющие порядок следования секущих плоскостей (ось Or), вертикальные столбцы – всего один элемент, который определяется узлом опорной сетки (ось $O\omega$), горизонтальные строки – простой перебор всех узлов опорной сетки (ось $O\varphi$). Только затем из данной матрицы уже формировать трехмерную гипертрейс-матрицу путём перегруппированию её элементов таким образом, чтобы вычисляемые признаки при её сворачивании обладали свойствами инвариантности к группе движению и масштабированию 3D изображения.

Другими словами, сокращение времени работы сканирующей системы можно достигнуть за счет модульного написания программы. В этом случае достигается колоссальный выигрыш во времени, потому что осуществляется однократное вычисление ресурсоемких трейс T и гипертрейс *HyperT* функционалов, отвечающих за сканирование. Таким образом, на основании одной гипертрейс-матрицы путём целенаправленного или случайного перебора остальных видов функционалов P , Θ , *HyperP*, *HyperQ* и *HyperTheta* вычисляются всевозможные признаки $Res(F)$ исходного пространственного объекта. Кэширование результатов предыдущего шага обработки результатов сканирования позволяет сократить время выполнения задачи распознавания 3D изображения в сотни раз.

Сократить время работы сканирующей и распознающей системы также можно с использованием следующего факта. Если плоскость повернуть на угол π радиан вокруг вектора, перпендикулярного нормали плоскости, то она совпадёт сама с собой или будет параллельна своему первоначальному состоянию. Так как используется сетка из сканируемых параллельных плоскостей, то перебор углов ω и φ для плоскости $B(\eta(\omega, \varphi), r)$ можно совершать до π радиан без потери точности распознавания с заметным сокращением времени сканирования.

В этом случае количество узлов опорной сетки на сфере будут сокращено вдвое, а сама сетка будет построена на полусфере. Такую опорную сетку на

полусфере с равномерным распределением можно получить из обычной равномерной сетки на сфере с удалением узлов, которые будут иметь отрицательную аппликату, то есть находиться ниже плоскости $\theta x y$ (рис. 2).

При этом в плоскости $\theta x y$ будут находиться только половина точек сферы с включенной точкой $(1; 0; 0)$ и выколотой точкой $(-1; 0; 0)$, так как последние две точки определяют параллельные плоскости (для детерминированной развёртки). Аналогичное свойство будет находить своё отражение в генерации узлов и для стохастического способа сканирования.

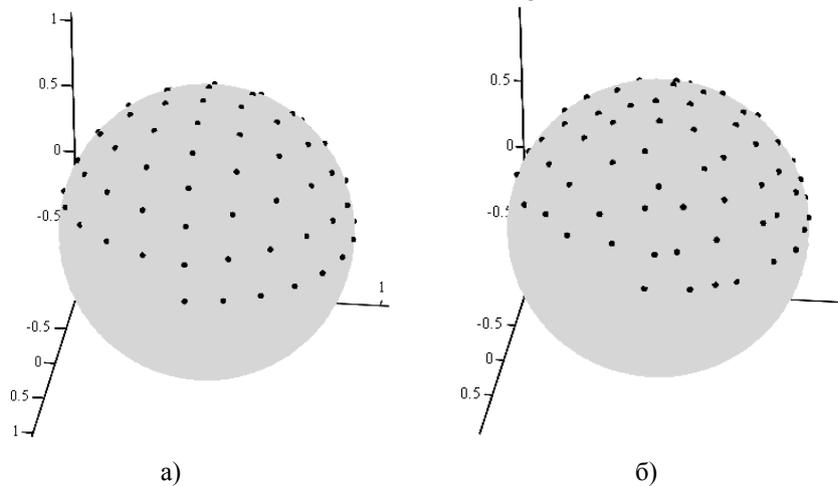


Рисунок 2 – Опорная сетка на полусфере с вдвое меньшим числом узлов: а) для детерминированной развёртки; б) для стохастической развёртки

Однако стоит отметить, что при обходе свыше π радиан вектор нормали плоскости, по которому определяется положительный отсчёт номеров плоскости или, что эквивалентно, порядок следования сечений, меняет направление на противоположное. При таком типе сканирования порядок следования элементов в глубинных строках может поменяться на прямо противоположный. Поэтому из общего списка доступных функций для функционала *HyperP* следует убрать те функции, которые чувствительны к прямому или обратному порядку следования элементов строки (вектора).

Данное замечание аналогично для трейс-матриц и прямых в плоскости сечения. Так, если прямую в плоскости сечения повернуть на угол π радиан, то она совпадёт сама с собой. Поэтому перебор значений для угла θ следует осуществлять на от 0 до π радиан. Функционал P не должен быть чувствителен к прямому или обратному порядку следования элементов в столбцах трейс-матрицы.

3. Ускорения распознавания 3D изображения за счёт структуры гипертриплетного признака. Ускорение времени работы алгоритма распознавания можно достигнуть за счёт сокращения количества сканирования исходного 3D изображения. Это касается неполного типа формирования гипертриплетных признаков с сокращённой аналитической структурой (композиции функционалов). Так, при вычислении признака площади поверхности 3D объекта уже после применения функционала P вектор $g(\theta)$ содержит значений периметра сечений под разными углами наклона сканирующих прямых, а после применения

функционала *HyperP* получаемая матрица значений $G(\omega, \varphi)$ содержит значения площади поверхности 3D объекта под разными углами обзора.

Поэтому периметр контура какого-либо сечения можно вычислить с использованием сетки сканирующих параллельных прямых только под одним углом наклона в плоскости сечения, а площадь поверхности 3D объекта – использованием сетки сканирующих параллельных плоскостей только под одним углом обзора 3D изображения. В этом случае, обработка функционалами Θ , *Hyper Ω* и *Hyper Θ* строк и столбцов гипертрейс- и трейс-матриц соответственно будет опущена.

В целях повышения точности вычисления данных признаков сканирование можно осуществлять под несколькими случайными углами, а получаемые значения признаков $Res(F)$ и $\Pi(F_{sect})$, усреднять.

Ниже представлен гипертриплетный признак неполного типа, вычисляющий объёма пространственного объекта:

$$Res(F) = HyperP \circ HyperT(P \circ T), \quad (5)$$

$$\text{где } T(F_{sect} \cap l(\theta = \theta_0, \rho)) = \sum_t f(\theta_0, \rho, t), \quad P = \sum_\rho g(\theta_0, \rho) \cdot \Delta\rho,$$

$$HyperT(F \cap B(\eta(\omega = \omega_0, \varphi = \varphi_0), r)) = G(\omega_0, \varphi_0, r), \quad HyperP = \sum_r G(\omega_0, \varphi_0, r) \cdot \Delta r.$$

Достичь ускорения вычислений можно также и за счёт применения специальных вычислительных схем обработки данных сканирования. Речь идёт о вычислении множества различных видов гипертриплетных признаков путём определения порядка подстановки различных видов функционалов *HyperP*, *Hyper Ω* и *Hyper Θ* в аналитическую структуру признака. Так, организовать обработку строк и столбцов гипертрейс-матрицы можно в виде дерева, когда для одного типа функционала *HyperP* последовательно вычисляются все типы функционалов *Hyper Ω* , для каждого из которых последовательно вычисляются все типы функционалов *Hyper Θ* . Применение такой вычислительной схемы позволяет ускорить работы системы в несколько раз.

Рассмотрим данную схему метода деревьев более подробно на конкретном примере. Пусть для построения полного набора гипертриплетных и триплетных признаков, имеющих полную аналитическую структуру, требуется количество a , b , c , d и e различных видов функций для каждого из функционалов P , Θ , *HyperP*, *Hyper Ω* и *Hyper Θ* соответственно. По методу деревьев необходимо произвести всего $a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e$ вычислений функционалов, вычисляя каждый вид функции всего один раз для всех признаков. Для обычной же схемы с прямым перебором всех значений функционалов для формирования одного вида признака (используется только одна комбинация функций) потребуется вычисление 5 функций. Так как существует $a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e$ различных признаков через комбинации функций, то всего потребуется всего $5 \cdot a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e$ вычислений функционалов.

Таким образом, при использовании метода деревьев количество вычислений функционалов можно сократить в пять раз, что положительно скажется на времени работы распознающей системы

Также гипертрейс-преобразование поддерживает возможность распараллеливания разработанного алгоритма с использованием многоядерных процессоров и системы многопоточных вычислений. Так, сканирование любой

сеткой параллельных плоскостей осуществляется одинаково. Сначала требуется нахождения сечений 3D объекта. Затем каждое сечение сканируется решёткой параллельных прямых с последующим занесением результатов пересечения с 2D изображением сечения в трейс-матрицу (отдельно для каждого сечения). Далее вычисляются признаки каждого сечения $\Pi(F_{sect})$ и заполняется единичной гипертрейс-матрица. После этого вычисляются непосредственно гипертриплетные признаки.

Так как сканирование как плоскостями, так и прямыми происходит под множеством различных углов, то количество подзадач на несколько порядков превосходит количество используемых процессоров, что обеспечивает большую гибкость данному алгоритму и эффективность использования системы параллельных вычислений. Кроме того, ход выполнения задачи носит линейный последовательный характер, что говорит о хорошей коммуникации и отсутствии затрат на передачу данных между вычислительными узлами разных кластеров.

Композиционная структура функционалов обеспечивает хорошую сегментацию задачи. Подзадачи будут иметь приблизительно одинаковый размер, что позволит обеспечить сбалансированную загрузку. С повышением объёма вычислений и уменьшением шага сетки увеличивается количество прямых или плоскостей, которые пересекают рассматриваемый 2D или 3D изображение соответственно. Следовательно, количество подзадач начинает заметно возрастать с увеличением шага сканирования, при этом размер отдельной подзадачи остаётся постоянным. Данное обстоятельство свидетельствует о хорошей масштабируемости задачи распределённой обработки данных.

Древовидной схема вычисления обеспечивает минимизацию количества блокировок для синхронизаций между потоками данных, так как признаки могут быть вычислены в любой последовательности в пределах одного дерева.

Аппаратные возможности ускорения работы предлагаемого метода (в том числе подключение специальных графических карт), применение специальных языков программирования для более быстрой реализации предложенного алгоритма в данной статье не рассматривались.

Авторы планируют развить теорию гипертриплетных признаков для анализа не только бинарных и монохромных 3D изображений, но и цветных и текстурных 3D изображений. Аналогичные результаты уже были получены при анализе цветных и текстурных 2D изображений в [10-13].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект №15-07-04484).

Список литературы

1. Zhang, Y. *PanoContext: A whole-room 3D context model for panoramic scene understanding [Text]* / Y. Zhang, S. Song, P. Tan, J. Xiao / *Proceedings of the 13th European Conference on Computer Vision (ECCV 2014)*. – Zurich, Switzerland : Springer, 2014. – Part IV. – Vol. 8694. – P. 668-686.
2. Myasnikov, V.V. *Analysis of Efficient Linear Local Features of Digital Signals and Images [Text]* / V.V. Myasnikov // *Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications*. – 2016. – Vol. 26. – No. 1. – Moscow: Pleiades Publishing, Ltd. – P. 22-33.
3. Сёмов, А.А. *Построение оптимальной стохастической равномерной сетки на сфере, инвариантной к повороту 3D изображения в пространстве [Текст]* / А.А. Сёмов // *Проблемы информатики в образовании, управлении,*

- экономике и технике: сб. статей XV международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский дом знаний. – 2015. – С. 134-141.
4. Сёмов, А. А. Основные методы построения гипертрейс-матриц [Текст] / А. А. Сёмов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : научно-методический журнал. – 2015. – № 03 (25). – Т. 1. – С. 69-76. □ (Технические науки. Информационные технологии).
 5. Сёмов, А.А. Аналитическая структура признаков 3D-изображений: анализ, свойства, примеры [Текст] / А.А. Сёмов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : научно-методический журнал. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2016. – №03(31). – С. 63-70. □ (Технические науки. Информатика, вычислительная техника и управление).
 6. Fedotov, N.G. The theory of image-recognition features based on stochastic geometry [Text] / N.G. Fedotov // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications. – 1998. – Vol. 8. – No. 2. – Moscow: Pleiades Publishing, Ltd. – P. 264-266.
 7. Федотов, Н.Г. Минимизация признакового пространства распознавания 3D изображения на основе стохастической геометрии и функционального анализа [Текст] / Н.Г. Федотов, А.А. Семов, А.В. Моисеев // Машинное обучение и анализ данных. – 2015. – Т. 1. – №13. – Электронный журнал. – Издательство: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН (Москва). – С. 1796-1814.
 8. Федотов, Н.Г. Теория признаков распознавания образов на основе стохастической геометрии и функционального анализа [Текст] / Н.Г. Федотов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 304 С.
 9. Fedotov, N.G. Trace transform of three-dimensional objects: recognition, analysis and database search [Text] / N.G. Fedotov, S.V. Ryndina, A.A. Semov // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications. – 2014. – Vol. 24. – No. 4. – Moscow: Pleiades Publishing, Ltd. – P. 566-574.
 10. Федотов, Н.Г. Интеллектуальные возможности гипертрейс-преобразования: конструирование признаков с заданными свойствами [Текст] / Н.Г. Федотов, А.А. Сёмов, А.В. Моисеев // Машинное обучение и анализ данных. – 2014. – Т. 1. – №9. – Электронный журнал. – Издательство: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН (Москва). – С. 1200 - 1214.
 11. Fedotov, N.G. Recognition of images with complex half-tone texture / N.G. Fedotov, D.A. Mokshanina // Measurement Techniques. – 2011. – Vol. 53. – № 11. – P. 1226-1232.
 12. Fedotov, N.G. Recognition of halftone textures from the standpoint of stochastic geometry and functional analysis / N.G. Fedotov, D.A. Mokshanina // Pattern Recognition and Image Analysis, Advances in Mathematical Theory and Applications. – 2010. – Vol. 20. – No. 4. – Moscow: Pleiades Publishing, Ltd. – P. 551-556.
 13. Fedotov, N. Application of triple features theory to the analysis of half-tone images and colored textures. Feature construction along stochastic geometry and functional analysis. Computer and Information Science / N. Fedotov, S. Romanov, D. Goldueva // Canadian Center of Science and Education Canada, 2013. V. 6. №4. P. 17-24.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

УДК 004.89
ББК 22

МЕТОД ВЫБОРА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА НА ОСНОВЕ ЧАСТНЫХ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ОЦЕНОК ИНФОРМАЦИОННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ДРУГИХ ПАРАМЕТРОВ

© Ю.А. Башвеев, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

© А.Н. Милованов, АО "Радиозавод" (г. Пенза, Россия)

SELECTION METHOD OF THE MICROCONTROLLER BASED ON CONCRETE CRITERION ASSESSMENTS OF INFORMATION AND OTHER PARAMETERS

© Y.A. Bashveev, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© A.N. Milovanov, joint-stock company "Radiozavod" (Penza, Russia)

В статье приведены результаты разработки метода выбора микроконтроллера на основе информационной производительности, стоимости и прочих параметров. Описан порядок нахождения допустимого множества альтернатив. Приводится последовательность оценки микроконтроллера по частным критериям различного типа. Описан способ получения общей оценки.

Ключевые слова: метод выбора, частные критерии, информационная производительность, допустимое множество вариантов.

This article contains the results of development of the selection method of the microcontroller based on information productivity, cost and other parameters. Authors describe the order of finding of admissible set of alternatives, propose the order of microcontroller assessment by concrete criteria of various types and define the way of overall assessment acquisition.

Key words: selection method, concrete criteria, information productivity, admissible set of alternatives.

Критерии, по которым происходит выбор микроконтроллера (МК), можно эвристически разделить на три группы.

Группа 1. Критерии, которые определяют самую принципиальную возможность реализации проекта с использованием определенного МК. С одной стороны, МК должен обеспечивать выполнение алгоритма за заданное время, с другой стороны, МК должен иметь такую цену, чтобы проект был экономически целесообразен, экономически выполним. Таким образом, в эту группу будут входить информационная производительность и цена МК.

Группа 2. Критерии, которые определяют эффективность использования МК в проекте. В эту группу можно отнести такие критерии как поддержка языков программирования, жизненный цикл выбранного семейства, доступность продукции, опыт работы инженеров с данным МК, программная совместимость с уже имеющимся программным кодом и т.д. Подобные критерии имеют в сильной степени субъективную природу, но их нельзя никак обойти, их необходимо также учитывать. Критерии этой группы могут влиять не только на успех реализацию проекта, но и на его дальнейшее сопровождение, на

возможность применения МК в будущем при развитии и улучшении проекта, на сроки проектирования системы, сроки программирования и т.д.

Группа 3. *Критерии, которые определяют техническую эффективность использования МК с другими узлами информационной системы.* Здесь речь идет о наличии у МК определенных интерфейсов, наличия необходимого объема памяти и т.д. Критерии этой группы влияют на успешность взаимодействия МК с другими компонентами информационной системы.

Определим понятие семейства МК. К одному семейству МК относят изделия, имеющие одинаковое ядро – совокупность таких понятий, как система команд, циклограмма работы ЦП, организация памяти программ и данных, базовый набор периферийных устройств [2]. Отличия между различными представителями одного семейства заключается, в основном, в составе периферийных устройств и объеме памяти программ или данных. Наиболее важная особенность семейства – программная совместимость на уровне программного кода всех входящих в него МК.

Внутри семейства модели имеют схожие свойства. Первоначально выбор делается именно в пользу определенного семейства. Такие технические вопросы, как исполнение корпуса, наличие определенного интерфейса учитываются уже позже.

С учетом вышесказанного, очевидно, что критерии первой группы K^I , будут задавать ограничения на использования определенных семейств МК, критерии второй группы K^{II} вполне применимы для оценки семейств в целом, а критерии третьей группы K^{III} будут уже давать оценку конкретным моделям в выбранном семействе. Таким образом, $K = K^I \cup K^{II} \cup K^{III}$, $K^I \cap K^{II} \cap K^{III} = \emptyset$.

Множество всех МК $X = \{x\}$ разбивается на n подмножеств семейств:

$$X = \bigcup_{i=1}^n X_i \quad , \quad \bigcap_{i=1}^n X_i = \emptyset \quad . \quad (1)$$

Множество микроконтроллеров X очень велико. Этот факт сокращает количество возможных применимых методов теории принятия решений (ТПР), например, методов с использованием экспертных оценок вариантов. Разбиение множества X на семейства X^S позволяет на определенном этапе работать с ними как с отдельными объектами выбора. Кроме того, повышается точность требований и оценок, т.к. эксперты могут обзирать значения параметров объектов, с которыми они работают на определенном этапе.

Помимо этого, сравнение напрямую вариантов из разных семейств часто бывает затруднительно, т.к. имеется множество специфичных различий между семействами.

Предлагаются следующие этапы для решения задачи поиска наилучшего МК:

- нахождение допустимого множества семейств путем задания ограничений по цене и информационной производительности;
- формирование множества интервальных критериев; уточнение допустимого множества семейств путем задания ограничений на частные интервальные критерии; нахождение общей оценки семейств по интервальным критериям; уточнение допустимого множества путем задания ограничения на общую оценку по интервальным критериям;

- формирование множества порядковых параметров; определение значений порядковых параметров для всех МК из допустимого множества; уточнение допустимого множества путем задания ограничений на частные критерии;

- формирование множества номинальных критериев; уточнение допустимого множества путем задания ограничений на частные номинальные критерии; нахождение общей оценки МК по номинальным критериям; уточнение допустимого множества путем задания ограничения на общую оценку по номинальным критериям;

- нахождение общей оценки вариантов из допустимого множества, выбор наилучшего варианта.

Предложенный подход благодаря сокращению количества объектов одновременно участвующих в выборе имеет следующие преимущества:

- увеличение количества методов ТПР, которые могут быть применены;
- повышение адекватности требований и ограничений;
- повышение адекватности анализа полученного результата.

1. Нахождение допустимого множества семейств по цене и информационной производительности

Каждому X^S ставятся в соответствие средние значения параметров информационной производительности $\bar{I}^{MK}(X^S)$ и цены $\bar{C}^{MK}(X^S)$.

На значение средней информационной производительности накладывается ограничение g^I , на значение цены накладывается ограничение g^C . Множество допустимых семейств $X^{aS} = X^{aI} \cap X^{aC}$, где X^{aI} – множество семейств подходящих по \bar{I}^{MK} , X^{aC} – множество семейств подходящих по \bar{C}^{MK} .

Таким образом, имеем:

$$X^{aS} = \{X^S : \bar{I}^{MK}(X^S) > g^I \wedge \bar{C}^{MK}(X^S) < g^C\}. \quad 2)$$

Если $X^{aS} = \emptyset$, или если эксперты не удовлетворены полученным результатом, то проводится коррекция требований.

Если $X^{aI} = \emptyset$, то могут быть проведены следующие действия:

- производится оптимизация алгоритма;
- уточняется g^I в меньшую сторону.

Если $X^{aC} = \emptyset$, то проводятся следующие действия:

- уточняется g^C в большую сторону.

Если $|X^{aS}| > 1$, то необходимо дополнительно оценивать множества семейств для нахождения X^{*S} .

Если $|X^{aS}| = 1$, то $X^{*S} = X^{aS}$, и проводить дополнительную оценку семейств не требуется.

2. Оценка семейств по интервальным критериям

При оценке семейства значение любого оцениваемого параметра любого МК должно быть одинаково, т.е. $(\forall x \in X^S)(\forall l(x) = const)$.

Значения по интервальным параметрам, в отличие от номинальных и порядковых, могут различаться внутри семейства, поэтому необходимо использовать их усредненные значения:

$$\bar{l}^H = \frac{\sum_{i=1}^{|X^S|} l(x_i)}{|X^S|}. \quad (3)$$

Формирование множества значимых интервальных параметров.

Экспертам предоставляется множество интервальных параметров $L^H = \{l\} \neq \emptyset$. Каждому l можно поставить в соответствие критерий k^l . Некоторые критерии принадлежат множеству критериев участвующих в выборе альтернатив $\exists k^l \in K^a$, множества значимых параметров L^a и множество значимых критериев K^a равнозначны. При этом может быть что ни один l не выбран в качестве значимого. Для множества значимых интервальных параметров имеем:

$$L^{aH} = \{l: k^l \in K^a\}, L^{aH} \subseteq L^H, \exists L^{aH} = \emptyset. \quad (4)$$

Построение ФП по интервальным критериям.

ФП по интервальным критериям строятся по правилам, описанным в [1]. ФП строятся по всем k^l , вне зависимости от того будет ли участвовать критерий в определении общей оценки или на него только накладываются ограничения:

$$\forall k^l \in K^H \left(m(k^l) \in \{z, s, \pi\} \right), \quad (5)$$

где $m(k^l)$ – тип ФП по критерию k^l .

Задание ограничений.

Подробно подход описан в [3,4].

Ограничения задаются минимально возможным значением ФП $\mu_{f^l}^0$:

$$k^l \in K^g \leftrightarrow \mu_{f^l}^0 \neq 0. \quad (6)$$

Множество допустимых вариантов:

$$X^{aS} = \{X^S : \mu_{f_i}^0(X^S) > \mu_{f_i}^0\}. \quad (7)$$

Формирование множества критериев, участвующих в конечной свертке

Возможность принадлежности критерия k^l множеству K^w определяется минимально возможным значением ФП $\mu_{f^l}^0$ и множеством значений ФП

$|V_l^g|$ больших $\mu_{f^l}^0$:

$$\begin{aligned} & \forall (k^l \in K^a) (k^l \in K^w \leftrightarrow \mu_{f^l}^0 = 0) \vee \\ & \vee \exists (k^l \in K^w) (\mu_{f^l}^0 \neq 0 \wedge |V_l^g| > 1) \vee \\ & \vee \neg \exists (k^l \in K^w) (\mu_{f^l}^0 \neq 0 \wedge |V_l^g| = 1). \end{aligned} \quad (8)$$

Хотя бы одно из множеств K^w или K^g должно быть непустым:

$$\left((K^a \neq \emptyset) \wedge (K^a = K^w \cup K^g) \right) \rightarrow \exists K^w \exists K^g (K^w \neq \emptyset \vee K^g \neq \emptyset). \quad 9)$$

В зависимости от того, содержат ли множества K^w и K^g какие-либо критерии, и с учетом (1) возможны следующие два случая:

$$\begin{aligned} & (K^w = \emptyset) \wedge (K^g \neq \emptyset) \rightarrow X^{*S} = X^{aS}; \\ & \left((K^w \neq \emptyset) \wedge (K^g = \emptyset) \right) \oplus \left((K^w \neq \emptyset) \wedge (K^g \neq \emptyset) \right) = \\ & = (K^w \neq \emptyset) \left((K^g = \emptyset) \oplus (K^g \neq \emptyset) \right) = (K^w \neq \emptyset) \rightarrow \exists X^{*S} (X^{*S} \subset X^{aS}). \end{aligned} \quad 10)$$

Формирование весовых коэффициентов.

Всем $k^l \in K^w$ ставится в соответствие значение $w^l \in (0; 1]$. Значения w^l определяются методом парных сравнений.

Нахождение общей оценки по интервальным критериям.

Общая оценка по интервальным критериям находится по формуле:

$$\mu_f^H(x) = \sum_{j=1}^h w_j \mu_{f_j^H}(x). \quad 11)$$

Задание ограничений на обобщенный интервальный критерий

Каждому $X^S \in X^{aS}$ будет соответствовать оценка $\mu_f(X^S)$. Эксперты могут уменьшить X^{aS} , задав ограничение $\mu_f(X^S) \geq \mu_f^0$, где μ_f^0 будет соответствовать определенному значению по шкале Харрингтона. Таким образом, на данном этапе:

$$X^{aS} = \{ X^S : \mu_f(X^S) \geq \mu_f^0 \}. \quad 12)$$

3. Уточнение допустимого множества семейств путем задания ограничений на частные порядковые критерии

Производится анализ множества X^{aS} . Формируется множество порядковых параметров $L^H = \{l^H\}$ с учетом ТЗ. Здесь множество параметров будет совпадать с множеством значимых параметров: $L^H = L^{aH}$. Значения по данным параметрам нельзя напрямую получить из документации, поэтому эксперты должны определить значения $l^H(X^S)$ для всех $X^S \in X^{aS}$.

Далее, по аналогии с интервальными критериями, на частные критерии k^H из множества K^H соответствующего сформированному множеству L^H , накладываются ограничения:

$$X^{aS} = \{ X^S : \forall \mu_{f_i}^H(X^S) \geq \mu_{f_i}^0 \}. \quad 13)$$

4. Оценка семейств по номинальным критериям

Значения по номинальным параметрам, в отличие от порядковых и усредненных интервальных, разнятся внутри отдельного семейства:

$$\exists x \in X^S (\exists l(x) \neq const). \quad 14)$$

Поэтому по номинальным критериям мы можем оценивать не отдельно взятое семейство, а отдельные МК $x \in X^S$.

В остальном оценка производится аналогично оценки по интервальным критериям, отличаться будет лишь способ построения ФП.

5. Формирование общей оценки

На данном этапе для всех $x \in X^a$ известны оценки по двум обобщенным критериям – это значения обобщенной ФП по интервальным (техническим) критериям и значение обобщенной ФП по номинальным (эксплуатационным) критериям.

Общая оценка находится следующим образом:

$$\mu_f(x) = \frac{w^H \mu_f^H(x) + w^I \mu_f^I(x)}{2} \quad (15)$$

С учетом формул (2, 7, 13, 15) имеем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_f(x) = \frac{w^I \sum_{i=1}^{|K^{wI}|} w_i \mu_{f_i^I}(x) + w^H \sum_{j=1}^{|K^{wH}|} w_j \mu_{f_j^H}(x)}{2}; \\ x \in X^{aS}; \\ X^{aS} = \left\{ \begin{array}{l} X^S: \\ \bar{I}^{MK}(X^S) > g^I \wedge \bar{C}^{MK}(X^S) < g^C \wedge \\ \wedge \forall \mu_{f_i^I}^I(X^S) \geq \mu_{f_i^I}^0 \wedge \\ \wedge \forall \mu_{f_i^H}^H(X^S) \geq \mu_{f_i^H}^0 \wedge \mu_f^H(X^S) \geq \mu_f^0 \end{array} \right\}; \\ x \in X^a; \\ X^a = \{x: \forall \mu_{f_i^I}^I(x) \geq \mu_{f_i^I}^0\}. \end{array} \right. \quad (16)$$

где w^I и w^H – веса обобщенных критериев, K^{wI} , K^{wH} – соответственно множество интервальных и номинальных критериев, участвующих в свертке.

Список литературы

1. Башвеев Ю.А. Общий подход к разработке метода выбора микроконтроллера /Ю.А. Башвеев// *Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей X Всероссийской научно-технической конференции*. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2012. – С. 63-67.
2. Бродин В.Б., Калинин А.В., *Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики* – М.: ЭКОМ, 2002. – 400 с.:ил.
3. Петровский А.Б. *Теория принятия решений*. / А.Б. Петровский – М.: Издат. центр “Академия”, 2009. – 400 с.
4. Семенов С.С. *Анализ методов принятия решений при разработке сложных технических систем* / С.С. Семенов, А.В. Полтавский // XII Всероссийское совещание по проблемам управления. – ВСПУ, 2014.

5. Башвеев Ю.А., Сальников И.И. Функция принадлежности в системе поддержки принятия решения по выбору микроконтроллера. - Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 03(31), 2016. – С.89-100.
6. Башвеев Ю.А., Сальников И.И. Принятие решения по выбору микроконтроллера при проектировании устройств цифровой обработки информации. - Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 03(31), 2016. – С.100-104.

**УДК 800(03)
ББК 20**

ВЫЧИСЛЕНИЕ СТЕПЕНИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ ДОКУМЕНТОВ

© Ю.Е. Усачев, Пензенская государственная технологическая академия,
(г. Пенза, Россия)

THE CALCULATION OF THE DEGREE OF SEMANTIC PROXIMITY OF DOCUMENTS

© E. Yu. Usachev, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

В статье предлагается метод вычисления степени семантической близости документов, представленной в электронном виде. Предлагаемый подход, основан на автоматическом построении структурной модели документа, в виде семантической сети, содержащей основные понятия и описывающей отношения между ними. Степень семантической близости документов вычисляется по их структурным моделям, учитывающим структуру документа.

Приведена методика вычисления степени близости.

Ключевые слова: семантическая близость, смысловой анализатор, изоморфизм графов.

The paper proposes a method to compute the degree of semantic proximity of documents submitted in electronic form. The proposed approach is based on automated building structure model of the document, in the form of a semantic network containing concepts, and describe the relationships between them. The degree of semantic proximity of the documents is calculated according to their structural models, considering the structure of the document.

The technique of calculating the degree of closeness.

Key words: semantic proximity, semantic analyzer, isomorphism of graphs.

E-mail: uje1@pgta.ru

В настоящее время человечество порождает огромное количество информации, что обуславливает проблему поиска нужной. Существующие средства автоматизации поиска нужной информации позволяют существенно облегчить процесс отбора нужной [1,2]. Они используют метрику семантической близости между документами.

Существует более десятка способов вычисления мер семантической близости текстовых документов [2]. Эти способы основаны на работе с текстами, рассматриваемыми как неупорядоченные наборы слов, отбрасывая всю информацию о положении слов в тексте, используя только их частоты, встречающихся в документах слов.

В статье рассматривается подход, основанный на автоматическом построении структурной модели документа, в виде семантической сети, содержащей основные понятия и описывающей отношения между ними. Степень

семантической близости документов вычисляется по их структурным моделям, учитывающим структуру документа.

1. Формальная модель текста документа

В простейшем случае структуру S совокупности знаний, содержащихся в документе и определяющих его смысловое значение, можно определить следующим образом:

$$S = \{MU, F\}, \quad (1)$$

где MU – множество понятий данной совокупности знаний; F – отношение «смысловая связь».

В множестве понятий MU выделяется множество основных понятий $A \subset MU$, с помощью которых раскрывается смысловое содержание документа.

Определение 1. Отношение «смысловая связь» устанавливается между понятием $a \in A$ с каждым из понятий множества $B_a \subset A$, которое сочетается по смыслу в тексте (часто используются в сочетании) с понятием a .

Каждому понятию множества $a \in A$ во взаимно однозначное соответствие поставлено множество B_a , удовлетворяющее следующим условиям:

$$\forall a \in A \exists B_a \mid B_a \subset M \wedge (\forall b \in B_a, aFb) \quad (2)$$

Базовое множество понятий M определяется по формуле

$$M = A \cup \bigcup_{i=1}^m B_i, \quad m = |A|. \quad (3)$$

В качестве формальной модели структуры знаний можно использовать семантическую сеть, определяемую в виде ориентированного графа

$$G = (E, V) \quad (4)$$

где E – множество вершин, поставленное во взаимно однозначное соответствие с множеством понятий; V – множество ориентированных дуг;

$\vec{v} = (x, y) \in V$; $x \in E \wedge y \in E$ – дуга выходит из вершины, соответствующей основному понятию a , и входит в вершину, соответствующую понятию, которое сочетается по смыслу в тексте (часто используются в сочетании) с понятием a .

2. Формальное определение семантической близости документов

В статье рассматривается подход, к решению задачи определения семантической близости документов, основанный на создании в автоматическом режиме иерархической структурной модели текста документа. В качестве инструментального средства используется комплексный смысловой анализатор текста *Text Analyst* [3].

В результате анализа текста документа *Text Analyst* выделяется множество основных понятий $A \subset M$. Для каждого понятия $a \in A$ устанавливается вес его значимости a_v и определяется множество понятий $B_a \subset A$, которые сочетаются по смыслу в тексте (часто используются в сочетании) с понятием $a \in A$. Каждому понятию $b \in B_a$ соответствует вес его значимости b_{vc} и вес связи b_{wc} с понятием a .

Определение 2. «Заданным» понятием $a \in A$ называется само понятие с множеством понятий $B_a \subset M$, находящихся с ним в отношении «смысловая связь» и обозначается как a_{op} .

Каждому “заданному” понятию a_{op} , можно поставить в соответствие его модель в виде графа

$$G = (E, V) \quad (5)$$

где E – множество вершин, поставленное во взаимно однозначное соответствие множеству понятий B_a и $a \in A$. Все вершины имеют метки, соответствующие их весам a_v и b_{vc} ,

V – множество ориентированных ребер, задающих отношение «смысловая связь». Каждому ребру соответствует метка, соответствующая весу связи b_{vc} .

Утверждение 1. “Заданное” понятие a_{op} тождественно “заданному” понятию c_{op} , если графы их моделей изоморфны, а значения соответствующих весов совпадают.

Поскольку все понятия принадлежат одному базовому множеству понятий, то вершинам a и c , соответствующих некоторому одному понятию в графах будут соответствовать вершины, имеющие одинаковый тип. Поэтому если графы их моделей изоморфны, то понятие a тождественно понятию c , а множество понятий B_a тождественно множеству понятий B_c .

Семантические сети S_a^1 и S_a^2 одного и того же понятия a в разных документах будут тождественны, а графы их изоморфны, если при их формировании были использованы тождественные “определенные” понятия.

Степень тождественности семантической сети S_a^1 и семантической сети S_a^2 , и степень изоморфизма их графов, определяется относительным количеством тождественных “определенных” понятий во множестве выделенных понятий.

Аналогично рассматривается степень тождественности “заданного” понятия a_{op} в различных документах, которая определяется относительным количеством одинаковых понятий во множестве B_a .

Степень семантической близости основного документа с документом из заданного множества документов T определяется степенью изоморфизма графов их семантических сетей. В работе [4] приведен алгоритм распознавания изоморфизма семантических сетей.

3. Методика вычисления степени семантической близости документов

Методика включает следующие этапы:

1. Выделение множества $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ основных понятий в основном документе и анализ их взаимоотношений в выбранной предметной области;

2. Настройка программы Text Analyst на автоматическую разработку семантической сети документов, путем установления следующих параметров:

- сила связи;
- вес понятий;
- пометка в словаре понятий множества M , как предпочтительных.

3. Предварительный анализ рассматриваемых документов с целью определения совпадения терминологии, используемой в основном документе и документах множества T . В случае необходимости проводится корректировка документов с целью приведения к единой терминологии;

3 Автоматическое построение семантической сети (смыслового портрета текста) в терминах основных понятий и их смысловых связей.

При генерации семантической сети программа *Text Analyst* выделяет множество значимых понятий $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, каждому из которых соответствует узел сети и список связанных с ним ассоциативными связями понятий. Каждому значимому i понятию соответствует множество $S_i = \{a_j, a_k, \dots, a_t\}$ понятий, ассоциативно связанных с понятием i .

4 Вычисляется семантическая близость документов.

Задача сравнения документов, сводится к нахождению соответствия между значимыми понятиями Z^j основного документа j со значимыми понятиями Z^t документа t . Для совпавших понятий, выделенных в обоих документах, необходимо произвести сопоставление их множеств. Так для i понятия необходимо найти соответствие между S_i^j и S_i^t .

Для оценки совпадения смысла документов в целом, необходимо найти множество Z_R

$$Z_R = Z^j \cap Z^t. \quad (6)$$

Величина R является количественным показателем совпадения по понятиям и определяется по формуле

$$R = \frac{|Z_R|}{|Z^j|} \quad (7)$$

Для понятия, находящегося в обоих документах, можно вычислить разницу весов по формуле

$$T_j = |b(a_i^j) - b(a_i^t)|, \quad (8)$$

где $b(a_i^j)$ — это вес понятия a_i в документе j ;

$$0 \leq b(a_i^j) \leq 100;$$

Величина T является показателем совпадения документов по значимости понятий в них

$$T = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (100 - T_i) / 100. \quad (9)$$

При сравнении отдельного i понятия необходимо найти одинаковые понятия, связанные с ним, в документах j и t $S_i = S_i^j \cap S_i^t$.

В целом, множество S_i отражает смысловое содержание понятия i . Показатель D_i указывает, насколько понятия совпадают по смыслу.

$$D_i = \frac{|S_i|}{|S_i^j|}, \quad (10)$$

$$R_i = \sum_{e=1}^{n_i} (100 - (|b(a_e^i) - b(a_e^j)|)) / 100 / n, \quad (11)$$

где D_i — это совпадение по понятиям, а R_i — это совпадение весов понятий.

Степень изоморфизма SI определяется по следующей формуле

$$SI = (R * T + \sum_{i=1}^{|A|} D_i * R_i) / 2 \quad (12)$$

В таблице 1 приведены результаты обработки текста программой Text Analyst

Таблица 1 – Результаты обработки текстов документов

Родитель, Частота, Вес, Подчиненный Программист, 42, 99, ===== Программист, 8, 71, опыт Программист, 7, 47, программирования на Программист, 7, 57, язык Программист, 6, 72, работы опыт, 81, 100, ===== опыт, 12, 54, разработке опыт, 41, 88, работы программирования на, 17, 80, ===== программирования на, 3, 59, язык программирования на, 3, 59, Программист	Родитель, Частота, Вес, Подчиненный Программист, 33, 99, ===== Программист, 28, 61, опыт Программист, 27, 57, программирования на Программист, 18, 61, знаний Программист, 16, 52, работы программирования на, 7, 85, ===== программирования на, 13, 49, язык программирования на, 13, 49, опыт разработке, 24, 99, ===== разработке, 12, 80, опыт разработке, 9, 71, опыт разработки
---	--

Базовое множество M включает следующие понятия:

Программист (A_1); опыт (A_2); программирования на (A_3); язык (A_4); работы (A_5); разработке (A_6); знаний (A_7); опыт разработки (A_8).

Множество выделенных понятий A включает:

Программист (A_1); опыт (A_2); программирования на (A_3); разработке (A_6).

На рисунке 1 приведена семантическая сеть S_1 сформированная для понятия программист (A_1), с использованием порождающих множеств G_i и правила подстановки для документа 1. Аналогично формируется и семантическая сеть S_2 для второго документа для понятия программист (A_1).

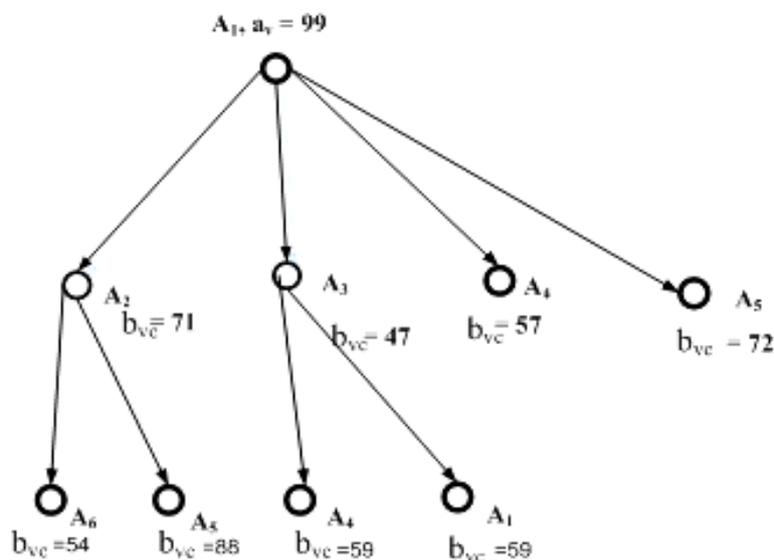


Рисунок 1– Семантическая сеть S_1 для понятия программист (A_1)

При сопоставлении семантических сетей S_1 и S_2 совпали следующие понятия:

Программист (A_1); программирования на (A_3).

Значения показателей совпадения документов:

1. Совпадения по понятиям

$$R = \frac{2}{3} = 0,67 \quad (13)$$

2 Разница весов понятий

$$T = (100 - ((42 - 33))/100 + (100 - (17 - 7))/100) / 2 = 0,905 \quad (14)$$

3 Совпадение “смысла”, совпавших понятий:

Для понятия - программист (A_1);

$$D_1 = 3 / 4 = 0,75$$

$$R_1 = ((100 - (71 - 61))/100 + (100 - (57 - 47))/100 + (100 - (72 - 52))/100) / 3 = 0,866$$

Для понятия - опыт (A_2);

$$D_2 = 1 / 2 = 0,5$$

$$R_1 = (((100 - (59 - 49))/100) / 1 = 0,9$$

В целом степень изоморфизма

$$SI = (0,67 * 0,905 + ((0,75 * 0,866 + 0,5 * 0,9) / 2)) / 2 = 0,57805$$

4. Апробирование метода

Для апробации методики разработана программа определения семантической близости документов на основе их семантических сетей полученных с помощью программы *Text Analyst*. Кроме меры семантической близости “Степень изоморфизма”, она позволяет рассчитывать следующие меры : Jaccarta; Taxonomic distance; Cosine Measure[2]. Это позволяет сравнить эффективность различных мер семантической близости на реальных документах.

Методика была апробирована при решении задачи маркетингового исследования рынка программных информационных систем, путем анализа содержания документов их описывающих. Цель исследования – определения аналогов и в целом актуальность конкретной информационной системы. За эталон была взято описание автоматизированной системы учета торгово-закупочной деятельности. Для сравнения с эталонной системой, были использованы описание найденных аналогичных, по назначению систем. С помощью системы Text Analyst получили семантические сети документов. Результаты анализа приведены в таблице № 2.

Таблица 2 – Результаты анализа

Документ	Степень изоморфизма	Jaccarta	Taxonomic distance	Cosine Measure	Всего одинаковых понятий
«Атмис-сахар»	0,24452	0,14815	0,05698	0,86877	8
«Выбор»	0,28714	0,10714	0,28868	0,95200	6
«Изумрудный город»	0,25161	0,14815	0,12700	0,88036	8
«Мода Люкс»	0,21471	0,08772	0,23570	0,91359	5
«Склад»	0,54310	0,37778	0,06362	0,85303	17
«ЧП Сергеев»	0,29882	0,16981	0,11547	0,82269	9

Результаты показывают, что в целом система учета торгово-закупочной деятельности, по функциональным возможностям, является востребованной на рынке программных информационных систем, поскольку документы, описывающие найденные системы имеют некоторую степень семантической близости с эталонной системой. Наиболее семантически близкой является описание системы «Склад», что подтверждает значение двух мер семантической близости и количество совпавших понятий. Как показывают результаты анализа, «Степень изоморфизма» является наиболее адекватной из, рассматриваемых мер семантической близости.

В заключении следует отметить, что предложенная мера семантической близости и методика её определения позволяет в автоматическом режиме осуществлять сопоставления семантического содержания документов. Рассматриваемый подход может быть использован при создании автоматизированных систем рецензирования и экспертизы документов[5], проведения маркетинговых исследований, определения востребованности специалиста[6] и других задачах, основанных на сопоставлении семантического содержания документов.

Список литературы

1. Киселев М. В. Пивоваров В. С. Шмулевич М. М. Метод кластеризации текстов, учитывающий совместную встречаемость ключевых терминов, и его применение к анализу тематической структуры новостного потока, а также ее динамики. //Междунар. сб. науч. раб.: Интернет-математика 2005: автоматическая обработка веб-данных. -М.: Яндекс, 2005., - стр. 412-435.
2. А. В. Жданова, П. В. Манкевич Статистический подход к семантическому структурированию предметных областей для запросов на естественном языке[Электронный ресурс] : Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН. – Режим доступа http://www.iis.nsk.su/files/articles/npr_jdanova_mankevich.pdf

3. Харламов А.А., Ермаков А.Е., Кузнецов Д.М. *TextAnalyst* - комплексный нейросетевой анализатор текстовой информации.- М.: Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 1998. - № 1, с. 32 – 36.
4. В.В. Пикулин, Ю.Е.Усачёв Алгоритм распознавания изоморфизма семантических сетей для сопоставления документов // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего*”: Научно-методический журнал. Серия: технические науки, Информационные технологии. Выпуск № 3 – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2011. стр. 92-97.
5. В.В. Пикулин, Ю.Е. Усачёв, Е.Н.Яшина Разработка методики формализованного анализа требований к специалистам и содержания образовательных программ// Воронеж: Вестник Воронежского технического университета. -2011.- № 8, с. 137-141.
6. Ю.Е. Усачёв, Е.Н.Яшина Автоматизированная система анализа
7. востребованности специалиста //Труды Международная научно-технической конференция (Computer-based conference) – Пенза: ПТИ, 2011, вып. 14 – С. 164-167.

СТРУКТУРЫ, МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 004.94
ББК 22

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

© *Т.В. Андреева, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

© *П.Г. Андреев, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)*

© *И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)*

FORECASTING THE INDICATORS OF STUDENTS' RESEARCH AND INNOVATIVE ACTIVITIES ON THE BASIS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

© *T.V. Andreeva, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *P.G. Andreev, Penza State University (Penza, Russia)*

© *I.I. Sal'nikov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье рассмотрены вопросы применения искусственных нейронных сетей для решения задач прогнозирования показателей научно-исследовательской и инновационной деятельности студентов вуза. Проведены исследования, которые позволили выбрать тип нейросети, наиболее пригодный для решения подобных задач. Показаны процессы организации и обучения обобщенно-регрессионной сети типа *GRNN* и сети прямого распространения с применением *Matlab*, проведен их сравнительный анализ. Произведено прогнозирование значений основных показателей научно-исследовательской и инновационной деятельности студентов. Проведено сравнение полученных результатов с реальными данными деятельности вуза. Наилучшие значения средне-квадратичной ошибки применительно к решению данной задачи получены для обобщенно-регрессионной сети типа *GRNN*.

Ключевые слова: научно-исследовательская работа студентов, инновационная деятельность студентов, динамика показателей, прогнозирование, искусственная нейронная сеть.

The article deals with the application of artificial neural networks for the tasks solution of forecasting of students' research and innovative activities indicators at higher school. The experiments done allow to select the type of neural network, the most suitable for such tasks. Processes of the organization and training generalized regression network type *GRNN* and network of direct distribution with *Matlab* application have been received, the comparative analysis has been carried out. Forecasting the main indicators of students' research and innovative activities has been done. Comparison of the results obtained with real data of activities at the University has been carried out. The best values of the mean squared error for the solution of this problem have been obtained by the generalized regression *GRNN* network type.

Key words: students' research work, students' innovative activity, indicators dynamics, forecasting, artificial neural network.

E-mail: atv@pengtu.ru

При решении задачи подготовки кадров для наукоёмких отраслей современного производства, являющейся в настоящее время одной из приоритет-

ных для социально-экономического развития страны, первостепенное значение имеет организация научно-исследовательской и инновационной деятельности студентов (НИДС) в вузах. Расширение масштабов вовлечения студентов в научно-исследовательскую работу, в разработку инновационных проектов достигается в вузе, в том числе, за счет применения современных информационных технологий, предусматривающих разработку моделей и анализ механизмов управления для обеспечения планомерной политики развития НИДС.

Одной из важных задач, решаемых при управлении НИДС вуза, является определение стратегии и выработка обоснованных рекомендаций по дальнейшему развитию и совершенствованию данного вида деятельности на основе анализа выявленных проблем и прогнозирования результатов. Для принятия обоснованных управленческих решений необходимо не только располагать объективными количественными показателями текущего состояния системы НИДС, но и иметь качественный прогноз на ближайший временной период. Поэтому прогнозирование показателей НИДС вуза является актуальной задачей и требует качественного решения с применением современных информационных технологий.

В настоящее время для анализа временных рядов, интерполяции и аппроксимации функций при решении практических задач в таких областях, как повышение качества радиоэлектронных средств [1], оценка научно-исследовательской деятельности вузов [2], качества обучения студентов широко используются возможности пакета прикладных программ *Matlab* и нейронные сети с радиальной базисной функцией (*RBF*) [3]. Ее особенностью является способность активировать нейрон функцией активации $a = \text{radbas}(\mathbf{p} - \mathbf{w}/b)$, где \mathbf{W} – вектор весов; \mathbf{p} – вектор входа; b – коэффициент смещения, позволяющий корректировать чувствительность нейрона.

Разновидностью *RBF*-сетей являются обобщенно-регрессионные сети типа *GRNN*, состоящие из слоя радиальных элементов и слоя элементов, формирующих взвешенную сумму для элемента выходного слоя. Причем, взвешенное среднее определяется посредством деления на сумму весов взвешенной суммы. Эта отличительная особенность данной сети реализуется в *Matlab* с помощью вычислительного блока «*normprod*» согласно следующему выражению:

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{LW}^{21}\mathbf{a}^1}{\text{sum}(\mathbf{a}^1)}, \quad (1)$$

где \mathbf{LW}^{21} – массив весов второго слоя; \mathbf{a}^1 – вектор входа второго слоя. Функция активации нейронов первого слоя равна $a = \text{radbas}(\mathbf{LW}^{11} - \mathbf{p}|b^1)$, где \mathbf{LW}^{11} – массив весов первого слоя. Функция активации нейронов второго слоя равна $a^2 = \text{purelin}(n^2)$, где *purelin* – нейросетевая передаточная функция трансформации входных данных в выходные.

Важную роль в работе сети играет параметр *SPREAD*, оказывающий непосредственное влияние на коэффициент смещения, а, следовательно, управляющий чувствительностью нейрона в первом радиально-базисном слое *GRNN*-сети. Если параметр *SPREAD* достаточно мал, то график радиально-базисной функции будет иметь резкие спады, что характеризует уменьшение диапазона входных значений, на которые реагируют нейроны скрытого слоя. Увеличение па-

параметра *SPREAD* приводит к сглаживанию графика радиально-базисной функции, а значит, к увеличению количества нейронов, реагирующих на значения вектора входных данных. В результате на выходе формируется вектор, соответствующий среднему нескольких целевых векторов, соответствующих входным векторам обучающего множества, близким к исходному входному вектору. Таким образом, график функции, генерируемый *GRNN*-сетью, становится более сглаженным.

Решение задач прогнозирования возможно с использованием нейросетей прямого распространения. Такие сети состоят из ряда слоев, количество которых в первоначальных настройках *Matlab* равно десяти. Первый слой имеет связь с сетевым входом, а каждый последующий слой имеет связь с предыдущим слоем. Последний слой производит выход сети.

Сеть прямого распространения может быть использована для любого вида входного сигнала с целью отображения выходных данных. Сеть прямого распространения с одним скрытым слоем и достаточным количеством нейронов в скрытых слоях может реализовать довольно сложные задачи прогнозирования. На рисунке 1 представлена обобщенная схема такой сети.

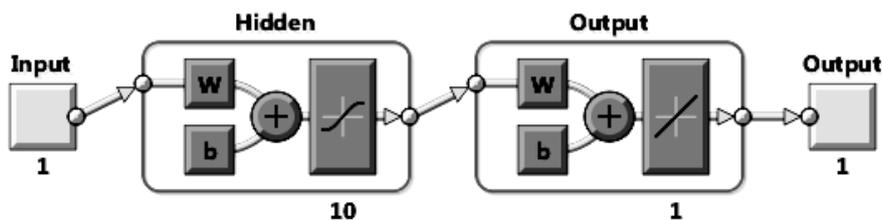


Рисунок 1 – Обобщенная схема нейросети прямого распространения в *Matlab*

Организацию нейросети прямого распространения в *Matlab* можно выполнить следующим образом. Сначала произвести вызов исходных данных: $[X, t] = \text{house_dataset}$, где X – массив входных данных по переменной X , t – массив данных обучающего множества нейронной сети. Далее вызовом функции «*feedforwardnet*» реализовать сеть с именем «*net*», имеющую десять слоев: $\text{net} = \text{feedforwardnet}(10)$.

Для реализации обобщенно-регрессионные сети типа *GRNN* предусмотрена *M*-функция «*newgrnn*», синтаксис представления которой в *Matlab* имеет вид: $\text{net} = \text{newgrnn}(X, t, \text{spread})$.

При применении нейросетей важным вопросом является их тренировка, при этом существует возможность использовать современные методы обучения нейросетей, реализованные в *Matlab*. Одним из эффективных является метод обратного распространения ошибки, представленный в виде функции «*trainlm*». «*Trainlm*» – это наиболее быстрый алгоритм обратного распространения ошибки, с хорошей управляемостью и контролем процесса обучения. Поэтому вначале для обучения нейросети был выбран этот алгоритм. Его недостатком является большая по сравнению с другими алгоритмами потребность в памяти вычислительного устройства. Входные данные для реализации алгоритма таковы: количество эпох тренировки – 1000; максимальное число отказов проверки – 6; минимальный градиент ошибки и производительности – 10^{-7} .

На рисунке 2 представлен результат обучения нейросети прямого распространения по массиву тренировочных параметров.

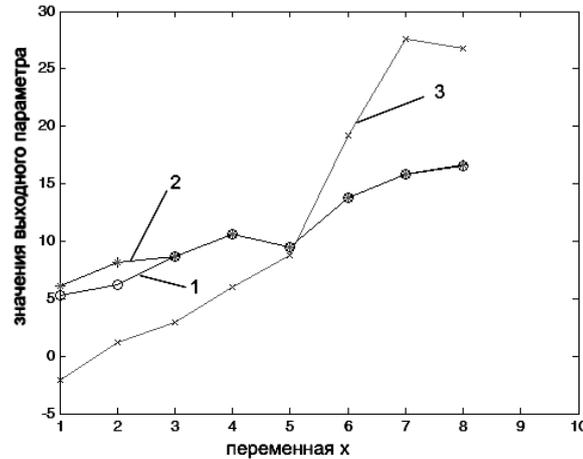


Рисунок 2 – Результат тренировки нейросети прямого распространения

Кривая 1 представляет собой график входных данных для тренировки сети. Кривая 2 – график, полученный после тренировки сети. При этом наименьшее значение среднеквадратичной ошибки обучения составило 0,533, что является хорошим результатом, полученным после проведения 50-ти итераций обучения. Кривой под номером 3 соответствует график нетренированной сети.

Далее по аналогии было проведено обучение обобщенно-регрессионной сети типа *GRNN*, результат которого представлен на рисунке 3. Здесь кривая 1 – это график входных данных для тренировки сети. Кривая 2 представляет собой график, полученный после тренировки сети типа *GRNN*. При этом наименьшее значение среднеквадратичной ошибки обучения составляет 0,076, что соответствует значению *spread*, равному 0,61.

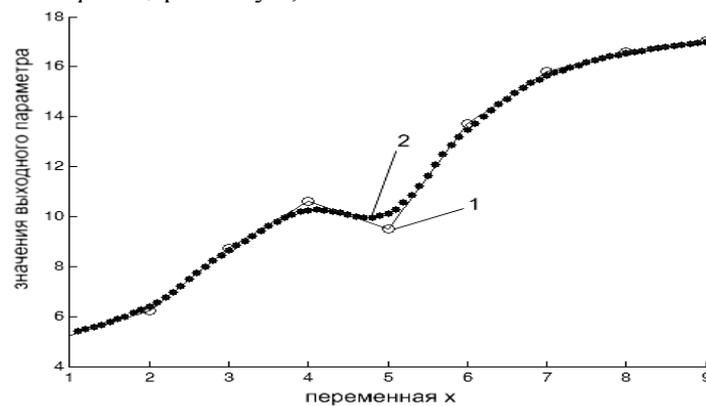


Рисунок 3 – Результат обучения обобщенно-регрессионной сети типа *GRNN*

Сравнительный анализ результатов реализации и тренировки нейросети прямого распространения и обобщенно-регрессионной сети типа *GRNN* позволил сделать следующие выводы применительно к решению задач прогнозирования показателей НИДС вуза:

1) обобщенно-регрессионная сеть типа *GRNN* имеет более простую реализацию в *Matlab*, чем сеть прямого распространения;

2) при прочих равных условиях процессы реализации и тренировки обобщенно-регрессионной сети типа *GRNN* требуют в десятки раз меньшего времени, чем сеть прямого распространения;

3) среднеквадратичная ошибка обучения сети типа *GRNN* значительно меньше, чем при тренировке сети прямого распространения.

Ранее были разработаны система критериев оценивания эффективности НИДС и методика оценивания ее результатов. Объективные значения основных и интегральных показателей НИДС были определены на основе статистических отчетных данных Пензенского государственного технологического университета с применением для нахождения весовых коэффициентов метода анализа иерархий [4,6].

После завершения процесса тренировки рассматриваемых сетей можно приступить к непосредственному решению задачи прогнозирования основных показателей НИДС вуза, значения которых за период с 2007 по 2015 год представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели НИДС вуза

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Организация	0,353	0,462	0,619	0,537	0,576	0,640	0,777	0,911	1,053
Руководство	0,836	1,020	1,156	1,543	1,389	1,539	1,858	1,501	1,624
Активность	0,369	0,481	0,912	1,149	0,986	1,081	1,351	1,464	1,491
Результативность	3,064	3,383	4,719	6,031	6,161	8,323	9,66	9,260	9,401
Финансирование	0,617	0,881	1,303	1,344	0,378	2,147	2,142	3,445	3,472
Интегральный	5,240	6,230	8,711	10,607	9,492	13,732	15,789	16,583	17,043

Для оценки погрешности прогноза включим в период прогнозирования данные за 2015 год. Для этого будем использовать функцию «*sim*», синтаксическое описание которой в *Matlab* имеет вид: $Y = sim(net, X)$, где X – входные значения переменной x , включающие данные за прогнозируемый период с 2015 по 2017 года; Y – значения показателей прогнозирования за соответствующий период.

Прогнозируемые значения основных показателей НИДС вуза за период с 2015 по 2017 год были определены с использованием обобщенно-регрессионной нейросети типа *GRNN*. В таблице 2 приведены результаты расчетов прогноза и его среднеквадратичной ошибки по интегральному показателю НИДС вуза, опосредованно включающего в себя остальные показатели таблицы 1. Вычисление среднеквадратичной ошибки прогнозируемых показателей по сравнению с их реальными значениями за 2015 год, выполнялось с помощью функции «*perform*», синтаксическое описание которой в *Matlab* представлено в следующем виде: $perf = perform(net, b1, b2)$, где $b1$ – реальные значения показателей; $b2$ – спрогнозированные значения показателей. Следует отметить, что общая среднеквадратичная ошибка прогнозирования по всем показателям НИДС не превысила значения 0,004. Это позволяет утверждать, что прогнозирование, выполненное с помощью обобщенно-регрессионной нейросети типа *GRNN*, имеет достаточно точный результат предсказания, совпадающий с реальными данными по НИДС вуза. Предложенный подход должен использоваться для решения поставленной задачи.

Таблица 2 – Интегральный показатель НИДС вуза

	2015	2016	2017
Реальное значение интегрального показателя	17,043	–	–
Спрогнозированное значение интегрального показателя	16,9840	17,0412	17,0429
Среднеквадратичная ошибка прогноза	0,00347	–	–

Аналогично были найдены прогнозируемые значения основных показателей НИДС вуза за период с 2015 по 2017 год с использованием нейросети прямого распространения. Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что по прогнозу каждого показателя показателей НИДС вуза среднеквадратичная ошибка прогнозирования не опустилась ниже значения 0,2104 при проведении не менее не менее восьмидесяти расчетных экспериментов. Это позволяет утверждать, что применение данного вида нейросети для решения поставленной задачи нецелесообразно.

Полученные результаты прогнозирования показателей НИДС могут быть использованы при принятии руководством вуза обоснованных управленческих решений, касающихся развития данного вида деятельности, а также при создании современных информационных технологий для управления НИДС [5].

Список литературы

1. Андреев, П.Г. *Современные задачи и методы обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств* / П.Г. Андреев, А.С. Жумабаева // *Робототехника и системный анализ: Сборник статей.* – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2015. – С. 115–119.
2. Талиманчук, Л.Л. *Метод интеллектуализации оценки научно-исследовательской деятельности высших учебных заведений на основе искусственных нейронных сетей: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01* / Талиманчук Людмила Леонидовна. – Москва, 2011. – 186 с.
3. Медведев, В.С. *Нейронные сети. МАТЛАБ 6* / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин; Под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
4. Андреева, Т.В. *Оценка эффективности научно-исследовательской и инновационной деятельности студентов вуза на основе метода анализа иерархий* / Т.В. Андреева, В.А. Чулков // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* – 2014. – Т. 16. – № 4 (2). – С. 424–431.
5. Андреева, Т.В. *Информационная система для организации научно-исследовательской и инновационной деятельности студентов вуза* / Т.В. Андреева // *Современные информационные технологии: Сборник трудов международной научно-технической конференции (г. Пенза, апрель–май 2014 г.).* – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2014. – Вып. 19. – С. 220–225.
6. Сальников И.И. *Структура иерархической системы поддержки принятия решения по объективному выбору средства реализации проектируемой системы цифровой обработки информации.* – Пенза: *Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс»*, изд. ПГТА, № 05(09), 2012, С.69-74.

УДК 519.711.3
ББК 30

**ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ И СОЛЕНОИДОВ И СРАВНЕНИЕ
ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

© **Ю. Н. Слесарев**, Пензенский государственный технологический университет
(Пенза, Россия)

© **А. А. Воронцов**, Пензенский государственный технологический университет
(Пенза, Россия)

**RESEARCHES OF MAGNETIC FIELDS OF PERMANENT MAGNETS
OF THE CYLINDRICAL FORM AND SOLENOIDS AND COMPARISON
OF THE RECEIVED RESULTS**

© **U.N. Slesarev**, Penza State Technological University (Penza Russia)

© **A.A. Vorontsov**, Penza State Technological University (Penza Russia)

В работе представлены результаты математического моделирования магнитных полей постоянных магнитов цилиндрической формы и эквивалентных им соленоидов. Было установлено, что использование того или иного метода расчета определяется предъявляемой точностью и замена постоянного магнита эквивалентным соленоидом вносит погрешности в расчеты. В заключении сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: математическая модель, метод моделирования, постоянный магнит, соленоид, эквивалентный соленоид, напряженность магнитного поля, магнитное поле сплошного магнита, математическое моделирование магнитных полей.

The purpose of work is carrying out mathematical modeling of magnetic fields of permanent magnets and solenoids equivalent to them. It has been established that use of this or that method of calculation is defined by the shown accuracy and replacement of a permanent magnet with the equivalent solenoid brings errors in calculations. In the conclusion the corresponding conclusions are drawn.

Key words: mathematical model, modeling method, permanent magnet, solenoid, equivalent solenoid, tension of magnetic field, magnetic field of a continuous magnet, mathematical modeling of magnetic fields

E-mail: Aleksander.Vorontsov@gmail.com

При анализе процессов в магнитострикционных преобразователях линейных перемещений (МПЛП) и магнитострикционных преобразователей углов наклона (МПУН) необходимо принимать в расчет величину и распределение магнитного поля создаваемого как постоянным магнитом, так и соленоидом.

В теории магнетизма доказывается [1], что магнитное поле постоянного магнита эквивалентно магнитному полю от тока, протекающего по поверхности, совпадающей с боковой поверхностью магнита [2,12]. В [2] приведены обоснования условий замены соленоида магнитом, но также не приведены результаты количественных сравнений.

С инженерной точки зрения реализовать протекание тока в поверхностном слое бесконечно малой толщины сложно, а аналогом такого устройства является соленоид, в котором ток протекает в объемном слое, то представляет интерес сравнить распределения магнитных полей постоянного магнита и однослойного соленоида с конечной толщиной провода. Исследованиям математических моделей постоянных магнитов и эквивалентных им соленоидов, а также вычислительным экспериментам над ними посвящена статья.

Теоретические исследования. Известно, что постоянный магнит с аксиальным направлением намагниченности, в частности, цилиндрический можно рассматривать как однослойный соленоид с бесконечно тонкой обмоткой, геометрически соответствующей боковой поверхности магнита, по которой течет намагничивающий ток I . Условием эквивалентности магнита и соленоида является равенство их магнитных моментов.

Магнитный момент магнита может быть найден по известной формуле

$$P = M \cdot V = M \cdot S \cdot h \quad (1)$$

где M - намагниченность магнита; V - объем магнита; S - площадь сечения; h - высота магнита.

Магнитный момент эквивалентного соленоида можно рассчитать по формуле:

$$P = j \cdot h \cdot S \quad (2)$$

где $j = I/h$ - линейная плотность намагничивающего тока.

Анализ формул (1) и (2) позволяет сделать вывод, что для вычислений магнитного момента эквивалентного соленоида необходимо равенство значений j и M , то есть $j = M$.

Для материалов с прямоугольной петлей гистерезиса намагниченность M можно определить как $M \cong B_r / \mu_0$, где B_r - остаточная индукция, $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м - магнитная постоянная. Линейную плотность намагничивающего тока эквивалентного соленоида с учетом необходимого равенства j и M , можно выразить приближенной формулой $j \cong B_r / \mu_0$.

Используя закон Био-Савара и подход изложенный в [3] для соленоида конечных радиусов обмотки R_1 и R_2 и конечной высоты h , изображенного на рисунке 1 было получено выражение для осевой составляющей магнитного поля соленоида $H_{sz}(r, z)$.

$$H_{sz}(r, z) = \frac{j}{2\pi} \int_{R_1}^{R_2} \sum_{\nu=1}^2 (-1)^\nu \frac{(z - z'_\nu)}{\sqrt{(z - z'_\nu)^2 + (r - r')^2}} \left[K(k_\nu) + \frac{r - r'}{r + r'} \Pi(h, k_\nu) \right] dr' \quad (3)$$

где $K(k_\nu) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\beta}{\sqrt{1 - (k_\nu^2) \sin^2(\beta)}}$ - полный эллиптический интеграл

первого рода;

$$\Pi(h, k_\nu) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\beta}{(1 - h \sin^2(\beta)) \cdot \sqrt{1 - (k_\nu^2) \sin^2(\beta)}} \quad - \text{полный эллиптический интеграл третьего рода;}$$

$$h = \frac{4rr'}{(r + r')^2}; \quad k_\nu = \sqrt{\frac{4rr'}{(z - z'_\nu)^2 + (r + r')^2}} \quad - \text{параметр}$$

метр; R_1, R_2 - внутренний и внешние радиусы соленоида; $z_2' = b$ - расстояние от нижнего торца катушки до начала координат; $z_1' = b + h_s$ - расстояние от верхнего торца катушки до начала координат; h_s - высота соленоида; j - плотность тока в витках соленоида, в А/м²; r, z - координаты точки наблюдения; r - переменная интегрирования.

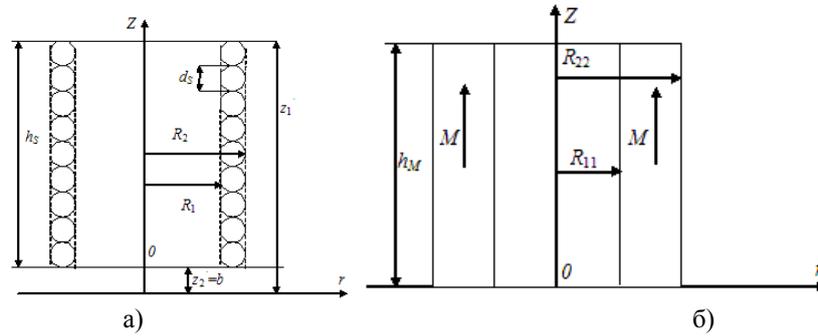


Рисунок 1 – Математические модели магнитных полей постоянного магнита (а) и эквивалентного ему соленоида (б)

Для анализа магнитных полей соленоида при задании значения плотности тока j также следует учитывать коэффициент заполнения обмотки $\lambda \cong \pi/4$.

Для постоянного кольцевого магнита с намагниченностью M и с внешним и внутренним радиусами соответственно R_{22} и R_{11} (рисунок 2), осевую составляющую напряженности магнитного поля $H_{mz}(r, z)$ можно определить по формуле [4]:

$$H_{mz}(r, z) = \frac{1}{4\pi} [H_{z2}(r, z) - H_{z1}(r, z)] \quad (4)$$

$$\text{где } H_{z2}(r, z) = 4 \cdot \int_{R_1}^{R_2} M \cdot \rho \cdot z \cdot E_2(k_2) \cdot \frac{1}{[(r-\rho)^2 + z^2] \cdot \sqrt{(r+\rho)^2 + z^2}} d\rho;$$

$$H_{z1}(r, z) = 4 \cdot \int_{R_1}^{R_2} \left(M \cdot \rho \cdot (z - h_M) \cdot E_2(k_1) \times \frac{1}{[(r-\rho)^2 + (z - h_M)^2] \cdot \sqrt{(r+\rho)^2 + (z - h_M)^2}} \right) d\rho;$$

$$E_2(k) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2(\varphi)} \cdot d\varphi \quad \text{полный эллиптический интеграл второго рода}$$

$$k_1 = \frac{4 \cdot r \cdot \rho}{(r + \rho)^2 + (z - h_M)^2}; \quad k_2 = \frac{4 \cdot r \cdot \rho}{(r + \rho)^2 + z^2};$$

стоянного магнита до точки наблюдения, $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, h_M – высота постоянного магнита; z - координата в направлении, перпендикулярном плоскости магнита, ρ - полярный радиус, определяемый расстоянием от центра постоянного магнита до точки, лежащей на его верхней или нижней поверхности, $\rho = \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}$.

Таким образом, для проведения вычислительных экспериментов при моделировании магнитных полей постоянного магнита и эквивалентного ему соленоида, будем использовать выражения (4) и (3) соответственно.

Вычислительный эксперимент. Для проведения вычислительных экспериментов будем использовать сплошные постоянные магниты ($R_{11}=0$) и эквивалентные им соленоиды высотой $h_M = h_S = h$. Намагниченность M постоянного магнита и соответствующую ей линейную плотность тока соленоида j

принимая равной $M = j = 5000$ А/м. Расстояние от торца соленоида до начала координат b для удобства проведения вычислительного эксперимента, принимаем равным нулю ($b = 0$). Диаметр провода катушки соленоида d_s выбираем равной 0,2 мм ($d_s = 0,2$ мм), катушка соленоида однослойная.

Для первого вычислительного эксперимента будем использовать постоянный магнит и соленоид радиусом $R_1 = R_2 = 2,5$ мм и высотой $h = 10$ мм. Результат моделирования изменения значений напряженностей магнитных полей вдоль оси OZ ($r = 0$) приведен на рисунке 3.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о полном несовпадении магнитных полей внутри соленоида и постоянного магнита, а также вблизи его торца ($z = 0,1$ м). Однако, при удалении от поверхности на расстояние $\approx 0,03$ мм ($z \approx 0,0103$ м) значения напряженностей магнитных полей, созданных постоянным магнитом и эквивалентным ему соленоидом уже отличаются незначительно ($\geq 1\%$).

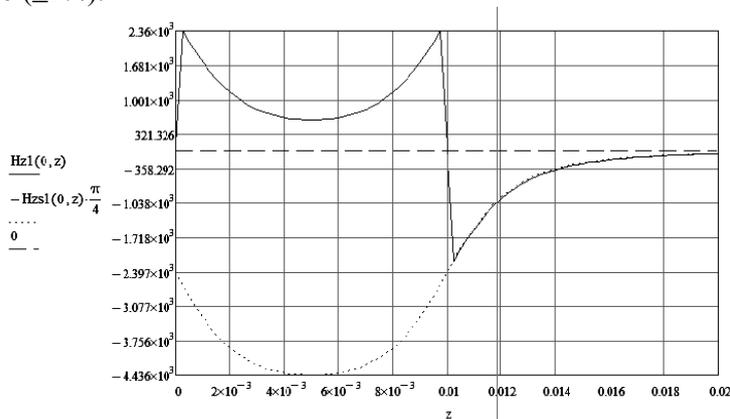


Рисунок 3 – Результат первого вычислительного эксперимента по сравнению распределений магнитных полей магнита и эквивалентного ему соленоида. $R_1 = R_2 = 2,5$ мм, $h = 10$ мм.

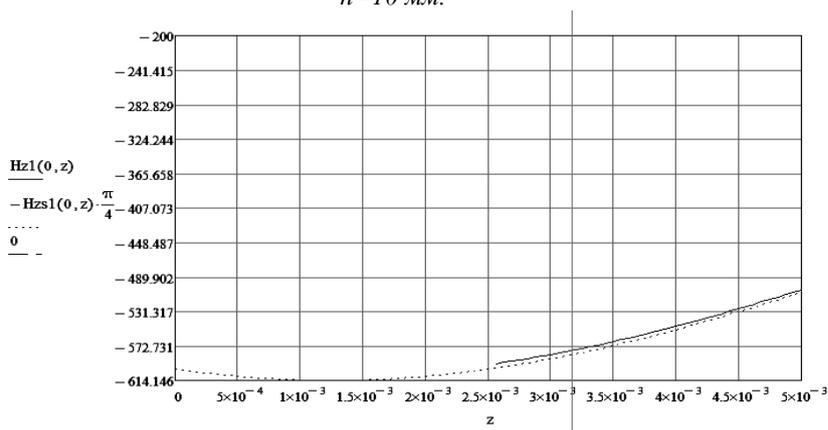


Рисунок 4 – Результат второго вычислительного эксперимента по сравнению распределений магнитных полей магнита и эквивалентного ему соленоида. $R_1 = R_2 = 10$ мм, $h = 2,5$ мм.

Для исследования изменений в результатах моделирования магнитных полей постоянных магнитов и эквивалентных им соленоидов, проведем второй вычислительный эксперимент. Его результаты приведены на рисунке 4.

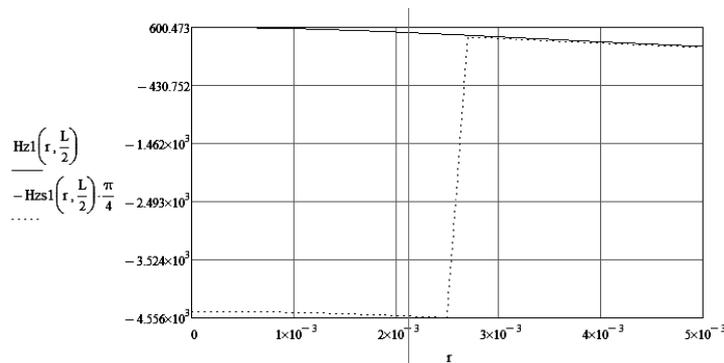


Рисунок 5 – Результат третьего вычислительного эксперимента по сравнению распределений магнитных полей магнита и эквивалентного ему соленоида. $z=h/2$, $R1=R22=2,5$ мм, $h=10$ мм

Моделирование магнитного поля постоянного магнита осуществлялось лишь в области, где результаты моделирования отличались незначительно. Для вычислительного эксперимента использовались постоянный магнит и соленоид высотой $h=2,5$ мм и радиусом $R_1=R_{22}=10$ мм. Анализ результатов позволяет сделать вывод, что на расстоянии, приблизительно равным $0,13$ мм от верхнего торца ($z \approx 2,63 \cdot 10^{-3}$ мм) результаты моделирования отличаются не более, чем на 1% ($\geq 1\%$).

Результаты вычислительных экспериментов по исследованию напряженностей магнитного поля вдоль оси $0r$ при $z=h/2$, проведенные на рисунках 5 и 6, также свидетельствуют о несовпадении значений как внутри постоянного магнита и соленоида, так и вблизи их поверхностей. Для вычислительных экспериментов были использованы постоянный магнит и соленоид радиусами $R_1=R_{22}=2,5$ мм и $R_1=R_{22}=10$ мм и высотой $h=10$ мм и $h=2,5$ мм для третьего и четвертого вычислительных экспериментов соответственно.

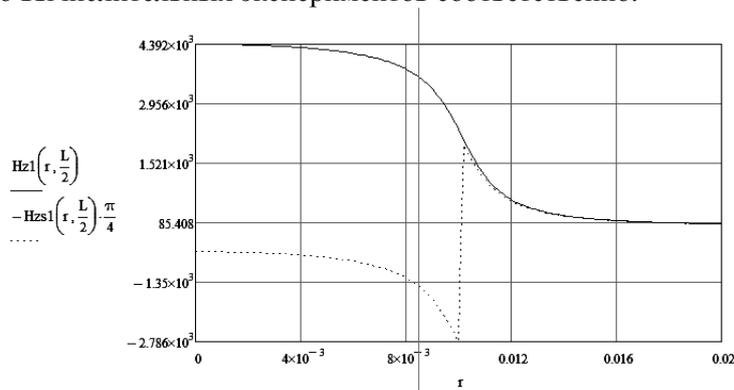


Рисунок 6 – Результат четвертого вычислительного эксперимента по сравнению распределений магнитных полей магнита и эквивалентного ему соленоида. $z=h/2$, $R1=R11=10$ мм, $h=2,5$ мм.

Выводы

Таким образом, в результате вычислительных экспериментов было впервые произведено сравнение результатов моделирования магнитных полей, полученных для постоянных магнитов и эквивалентных им соленоидов. Анализ результатов моделирования, приведенных на рисунках 3 – 6, позволил сделать вывод о несовпадении значений напряженностей магнитных полей как внутри

постоянного магнита и соленоида, так и вблизи их поверхностей. При незначительном отдалении от поверхностей, результаты моделирования магнитных полей отличаются незначительно ($\geq 1\%$). Однако, так как на практике создать бесконечно тонкий слой соленоида невозможно, то реальное расхождение результатов может быть более значительным. Поэтому, возможность использования для расчетов значений напряженности метода эквивалентного соленоида определяется лишь допустимой погрешностью расчетов. В случаях, когда допустимую погрешность измерений напряженностей магнитных полей постоянных магнитов необходимо минимизировать, рекомендуется использование математической модели постоянного магнита, приведенной в [4].

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания высшим учебным заведениям (проект № 3036).

Список литературы

1. В.А. Говорков *Электрические и магнитные поля. Гос. энергет. издат-во, М.-Л., 1960, с. 179.*
2. И.Е. Тамм. *Основы теории электричества. Издательство «Наука» , М. 1976г., с.252.*
3. *Расчет электрических цепей и электромагнитных полей на ЭВМ/ М.Г. Александрова, А.Н. Белянин, В Брюкнер и др.: Под ред. Л.В. Данилова и Е.С. Филиппова.- М.: Радио и связь, 1983.- 344 с.*
4. *Воронцов, А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнострикционных наклонеров, содержащих кольцевой или сплошной постоянный магнит / Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпунин // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. С. 467–472.*
5. *Мартышкин А.И. Комплекс программ для определения характеристик диспетчеров задач многопроцессорных систем с использованием приоритетных стохастических сетей массового обслуживания [Текст] / Р.А. Бикташев, А.И. Мартышкин, Н.Г. Востоков// Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 13.*
6. *Мартышкин А.И. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в многопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета [Текст]/ А.И. Мартышкин, Р.А. Бикташев, А.А. Воронцов// XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 3 (19). С. 137-145.*
7. *Мартышкин А.И., Карасева Е.А. Математические модели для качественной оценки производительности семафоров многопроцессорных вычислительных систем [Текст]// Инновации в науке. 2015. № 50. С. 40-45.*
8. *Сальников И.И. Размерная селекция бинарных изображений локальных объектов при анализе аэрофотоснимков. [Текст]// Телекоммуникации. – М.: Наука и технологии. 2015. № 2. С. 17-23.*
9. *Сальников И.И. Оценка влияния диапазона электромагнитных волн на потенциально-возможную скорость передачи данных в средствах реализации информационной потребности человека [Текст]// XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ, 2015. № 3 (25). С. 18-22.*
10. *Брызгалин В.В., Сальников И.И. Программное средство для анализа и обработки растровых изображений [Текст]// XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ, 2015. № 3 (25). С. 23-29.*

УДК 519.718: 621.396
ББК 34

**АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ
ДИНАМИКИ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗОВ ПОДСИСТЕМ И ДЕВИАЦИИ
ПАРАМЕТРОВ**

© *А.К. Гришко, Пензенский государственный университет
(Пенза, Россия)*

**ANALYSIS OF RELIABILITY OF COMPLEX SYSTEMS BASED
ON THE DYNAMICS OF THE FAILURE RATES OF SUBSYSTEMS
AND DEVIATION PARAMETERS**

© *A.K. Grishko, Penza State University (Penza, Russia)*

Надежность функционирования сложной системы зависит и от показателей надежности элементов системы и оптимального распределения значений показателей надежности между элементами системы. Целью данной статьи является определение требований надежности структурных элементов с учетом интенсивности отказов, а также возможных постепенных изменений параметров элементов проектируемой системы в процессе эксплуатации. В качестве накладываемых ограничений выступает требование обеспечения минимума затрат для заданного уровня надежности системы.

Ключевые слова: надежность, элемент, система, параметры, внезапные отказы, постепенные отказы.

Reliability of complex systems depends on the reliability of the elements of the system and optimal distribution of values of indicators of reliability between elements of the system. The purpose of this article is to define the requirements of reliability of structural elements, with the possible gradual and catastrophic failure, and possible gradual changes of parameters of elements of the designed system. As the constraints is required to ensure the minimum cost for a given level of system reliability.

Key words: reliability, element, system parameters, unexpected failures, gradual failures.

E-mail: alexey-grishko@rambler.ru

Анализ надежности сложных технических изделий обычно начинают с его разложения на отдельные элементы, в отношении которых можно определить количественные характеристики надежности. Эта декомпозиция выполняется так, чтобы отдельные части можно было представить конструктивно в виде самостоятельных узлов, блоков или устройств, независимых в отношении отказов [1]. Если у отказов соседних блоков существует зависимость друг от друга, их объединяют в один блок. Соответственно, структурная часть изделия, для которого производят нахождение количественной характеристики надежности, называют элементом расчета надежности.

В процессе конструирования сложных технических изделий ответственного назначения особо важным является обеспечение определенного уровня его надежности [2,3]. Как правило, необходимо чтобы вероятность безотказной работы за определенный период времени не превышала требуемую величину. Но вследствие того, что расчет надежности сложных изделий производится в соответствии с его структурой, возникает задача по определению требований надежности для каждого из n элементов системы исходя из требований к проектируемому изделию в целом. При отсутствии дополнительных ограничений, например, на массу, объем, габариты, стоимость, материальные затраты, то решение задачи приходится искать в условиях неопределенности [4-6], так как любые увеличения показателя надежности структурного элемента будет приво-

доть к повышению надежности всего изделия в целом. Если количество элементов в системе больше двух, то, следовательно, будет существовать множество вариантов для определения норм надежности для каждого элемента.

Допустим, задано требование по надежности некоторой системы в целом:

$$R \geq R_0 \quad (1)$$

где R – показатель надежности (вероятность безотказной работы); R_0 – заданное значение показателя надежности системы в целом, $0 < R_0 < 1$. Обозначив через $R_i, i = 1, \dots, n$ показатель надежности i -го независимого элемента расчета надежности системы (i -ой подсистемы), получаем:

$$R = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2)$$

Таким образом, требуется найти значения $R_i, i = 1, \dots, n$, при выполнении условия (1).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ С УЧЕТОМ ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗОВ

Выбор способа определения требований к надежности элементов системы существенно зависит от объема априорной информации [6,7]. Если допустить, что все элементы изделия близки по сложности, и расчет надежности можно производить с учётом только внезапных отказов (считая, что интенсивность отказов изделия не имеет временной зависимости), используют метод равномерного распределения [5,10]. При этом:

$$R_i = R^{1/n}, i = 1, \dots, n. \quad (3)$$

где n – число независимых элементов системы (подсистемы).

Если известны интенсивности отказов λ_j элементов (прототипов элементов) -го типа, входящих в подсистему, и можно полагать, что интенсивности отказов не зависят от времени, и не учитывать постепенные изменения параметров, то R_i находят методом пропорционального распределения, например, по формуле:

$$R_i = R^{\alpha_i} \quad (4)$$

где $\alpha_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j b_{ij} (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \lambda_j b_{ij})^{-1}$, b_{ij} – число элементов -ой подсистемы, которые имеют интенсивность отказов λ_j .

Если задана структура системы и известны некоторые функции $C_i(R_i)$, где $C_i(R_i)$ – ресурс, который затрачивается на обеспечение требований надежности -ой подсистемы, тогда задачу можно решить методом оптимального распределения. В этом случае необходимо найти такие значения R_i , которые обеспечивают

$$\min \{C[C_i(R_i)], i = 1, 2, \dots, n\} \quad (5)$$

при соблюдении условия (1). Здесь $C[*]$ - некий функционал.

В общем случае решение этой задачи на условную оптимизацию обычными способами дискретного программирования. Существуют различные варианты формулировки задачи (5). Например, требуется найти:

$$\min_{i_i} \sum_{i=1}^n C_i(R_i), \quad i = \overline{1, n} \quad (6)$$

при условии, что $\prod_{i=1}^n R_i \geq R_0, l_i = \overline{1, r_1}; \dots; l_i = \overline{1, r_n}$

где $C_i(R_{l_i})$ – значение стоимости i -го элемента изделия в l_i -ом варианте исполнения; R_{l_i} – значение вероятности безотказной работы i -го элемента в l_i -ом варианте исполнения; R_0 – значение заданного уровня вероятности безотказной работы изделия, который распределяется между его структурными элементами. Для сформулированной в такой постановке задачи в работах [4-6], предложен способ ее решения, который оказывается эффективным на тех этапах проектирования, когда имеется информация о соотношении показателей надежности и значений стоимости для каждого возможного варианта исполнения элементов. Но поскольку на ранних стадиях проектирования эта информация, как правило, отсутствует или известна только частично, и найти оптимальное решение не удастся. Иногда полагают, что

$$C[C_i(R_i)] = \sum_{i=1}^n g_i R_i (1 - R_i)^{-1} \quad (7)$$

при условии $\prod_{i=1}^n R_i \geq R_0$, где g_i – известные весовые коэффициенты, которые определяют по прототипу системы или по экспертным оценкам.

Таким образом, применение метода равномерного распределения обусловлено отсутствием необходимой информации на раннем этапе проектирования и дает, естественно, грубое приближение. Более того, нормы надежности, рассчитанные по формуле (3), для некоторых структурных элементов окажутся труднореализуемыми, так как будут приводить к существенному увеличению стоимости элемента, для которой существует некоторая нелинейная функциональная зависимость от показателя надежности. Применение методов пропорционального (4) и оптимального (5) распределения существенно улучшает качество решения [5,7], но поиск решения часто затруднителен из-за неполноты исходных данных.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ С УЧЕТОМ ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ

Известно, что каждый элемент и изделие в целом работоспособны, если определяющие их параметры лежат в пределах определенного допуска. Также известно, что в процессе эксплуатации вследствие износа, старения и под влиянием воздействия окружающей среды эти параметры могут изменяться. Средняя скорость такого процесса изменения может оцениваться по справочным данным или по данным эксплуатации изделий-аналогов. Очевидно, что чем меньше интервал допуска и чем больше значение скорости изменения параметров, тем сложнее обеспечить заданные требования надежности структурного элемента и, следовательно, выше будет его стоимость.

На ранних этапах проектирования можно приближенно считать, что ресурс, затрачиваемый на обеспечение надежности структурного элемента пропорционален показателю надежности этого элемента. Таким образом, с учетом значений допусков на определяющие или выходные параметры элементов и

данных, прогнозирующих изменение этих параметров, предлагается рассчитывать нормы надежности структурных элементов системы:

$$R_i = R^{\beta_i}, i = 1, \dots, n \quad (8)$$

где

$$\beta_i = \left[t_i \sum_{i=1}^n (t_i)^{-1} \right]^{-1} \quad (9)$$

$$t_i = L_i V_i^{-1} \quad (10)$$

где t_i - среднее время нахождения i -го параметра в интервале допуска; L_i - величина допуска; V_i - средняя скорость изменения определяющего параметра i -го элемента в процессе эксплуатации системы; $L_i = B_i - A_i$, A_i, B_i - известные границы допуска для определяющего параметра i -го элемента; $0 < V_i < V_{0i}$, где V_{0i} - заданная величина.

Легко заметить, что достоверность расчетов по формуле (8) и, следовательно, по формуле (7) зависит от точности вычисления величины t_i , так как при этом не учитывается положение номинальной (исходной точки) в поле допуска в начальный момент эксплуатации. С целью более точной оценки t_i необходимо рассматривать процесс изменения определяющего параметра подсистемы (структурного элемента). В работах [3-5] были рассмотрены различные модели таких процессов, предложены способы и алгоритмы вычисления значений t_i для линейных и монотонных процессов [5,7]. Для наиболее распространенной на практике линейной модели определяющего параметра в виде $X + V_i$, где X и V - случайные величины, получены расчетные соотношения для различных вариантов: случайная величина X распределена или по равномерному закону, или по усеченному нормальному закону [8,9].

Для распределения X и V по усеченному нормальному закону получены следующее выражение:

$$t_i = (L_i - 2\lambda_{2i}\sigma_{x_i})(m_{v_i} + \lambda_{1i}\sigma_{v_i})^{-1} \quad (11)$$

Здесь m_{v_i} - математическое ожидание случайной величины V ; σ_{x_i} и σ_{v_i} - среднеквадратичные отклонения случайных величин X и V ; λ_{2i} и λ_{1i} - коэффициенты, определяемые из уравнений:

$$\Phi_0(\lambda_{1i}) = (1 - \gamma_{1i})\Phi_0((V_{0i} - m_{v_i}\sigma_{v_i}^{-1})) - \gamma_{1i}\Phi_0(m_{v_i}\sigma_{v_i}^{-1}) \quad (12)$$

$$\Phi_0(\lambda_{2i}) = 0,5 - \gamma_{2i}, \quad (13)$$

где V_{0i} - детерминированная величина; γ_{1i} и γ_{2i} - коэффициенты, зависящие от R_0 и определяемые по алгоритму, изложенному в работах [6,7]:

$$\Phi_0(\lambda) = (2\pi)^{-1/2} \int_0^\lambda \exp[-z^2/2] dz \quad (14)$$

Таким образом, применяя для определения t_i методы и алгоритмы из работ [7,8], можно по формуле (8) рассчитать нормы и показатели надежности структурных элементов сложных систем с учетом прогнозируемого изменения этого параметра в процессе эксплуатации.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ С УЧЕТОМ ВНЕЗАПНЫХ И ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ

В тех случаях, когда необходимо учитывать и внезапные, и постепенные отказы, будем полагать, что эти отказы наступают независимо друг от друга. При этом для расчета предлагается использовать следующие соотношения:

$$R_i = R^{K_i}, i = 1, \dots, n \quad (15)$$

где

$$K_i = (\alpha_i + \beta_i) (\sum_{i=1}^n (\alpha_i + \beta_i))^{-1}$$

α_i и β_i – вычисляются по формулам (5) и (9) с использованием справочных значений интенсивностей отказов и структуры подсистемы.

Выражение (16) получено при условии, что наступление внезапных и постепенных отказов происходит независимо друг от друга. Такое предположение часто принимают при практических расчетах, так как на ранних стадиях проектирования, как правило, нет достаточных достоверных данных для учета зависимости внезапных и постепенных отказов изделия. В противном случае, когда каким-либо способом удастся описать зависимость внезапных и постепенных отказов, способы расчета требований к надежности подсистем изделия существенно усложняются. В работах [8-10] исследованы варианты с зависимыми параметрами и рассмотрены частные случаи, когда удастся преобразовать систему зависимых случайных параметров в систему независимых, для которых можно использовать выражение (15).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дополнение к известным ранее способам определения требований надежности подсистем сложной системы по интенсивности отказов структурных элементов [1] предложены соотношения для оценки требований к надежности подсистем как с учетом только постепенных изменений параметров, так и с одновременным учетом внезапных и постепенных отказов. Разработанную методику определения требований к надежности элементов сложных технических систем предлагается применять на ранних этапах проектирования, когда отсутствие необходимой информации делает невозможным нахождение оптимального распределения норм надежности структурных элементов, обеспечивающее минимальную общую стоимость изделия.

Статья подготовлена в рамках проектной части государственного задания выполнения государственной работы «Проведение научно-исследовательских работ (фундаментальных научных исследований, прикладных научных исследований и экспериментальных разработок) «№8.389.2014/К» по теме «Информационные технологии анализа конструкций радиоэлектронных средств при воздействии внешних факторов».

Список литературы

1. Садыхов Г.С., Савченко В.П., Сидняев Н.И. Модели и методы оценки остаточного ресурса изделий радиоэлектроники: – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 502 с.
2. Гришко А.К. Определение показателей надежности структурных элементов сложной системы с учетом отказов и изменения параметров / А.К. Гришко // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. - № 2. – С. 51-57.
3. Гришко А.К. Динамический анализ и синтез оптимальной системы управления радиоэлектронными средствами / А.К. Гришко // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – № 4 (26). – С 141-147.
4. Гришко А.К. Оптимальное управление параметрами системы радиоэлектронных средств на основе анализа динамики состояний в условиях конфликта / А.К. Гришко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2016. – № 2 (38). – С. 102-111. DOI: 10.21685/2072-3059-2016-2-9.
5. Гришко А.К. Алгоритм поддержки принятия решений в многокритериальных задачах оптимального выбора / А.К. Гришко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 1 (17). – С. 242-248.
6. Гришко А.К. Анализ надежности структурных элементов сложной системы с учетом интенсивности отказов и параметрической девиации / А.К. Гришко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 3 (19). – С. 130-137.
7. Гришко А.К. Оптимальное управление частотным ресурсом радиотехнических систем на основе вероятностного анализа динамики информационного конфликта / А.К. Гришко // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2016. – № 57. – С. 21-28. DOI: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-21-28.
8. Grishko A., Goryachev N., Kochegarov I., Brostilov S., Yurkov N. Management of Structural Components Complex Electronic Systems on the Basis of Adaptive Model. 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science (TCSET). Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23-26, 2016. pp. 214-218. DOI: 10.1109/TCSET.2016.7452017.
9. Grishko A., Goryachev N., Kochegarov I., Yurkov N. Dynamic Analysis and Optimization of Parameter Control in Radio Systems in Conditions of Interference. 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Moscow, Russia, May 12-14, 2016. pp. 1-4. DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491674.
10. Grishko A., Goryachev N., Yurkov N. Adaptive Control of Functional Elements of Complex Radio Electronic Systems. International Journal of Applied Engineering Research. Volume 10, Number 23 (2015), pp. 43842-43845.

УДК 681.2.083
ББК 30

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ
МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УРОВНЯ
И ПЛОТНОСТИ ТОПЛИВА НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

© *Е.С. Дёмин Пензенский государственный технологический университет,
(г. Пенза, Россия)*

**MATHEMATICAL MODELING MAGNETIC SYSTEMS
MAGNETOSTRICTIVE TRANSDUCER LEVEL
AND FUEL DENSITY OF GROUND VEHICLES**

© *E.S. Demin Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье рассмотрены математические модели магнитных систем магнитострикционных преобразователей уровня и плотности на ультразвуковых волнах кручения, предназначенных для использования в телеметрических системах мониторинга наземных автотранспортных средствах и результаты их моделирования. Приведены расчетные схемы их магнитных систем.

Ключевые слова: математическое моделирование, магнитные системы, магнитострикционные преобразователи уровня и плотности топлива, наземные транспортные средства

In the article the mathematical model of magnetic systems magnetostrictive transducers level and density by ultrasonic waves torsion, designed for use in telemetry monitoring systems of ground vehicles and the results of their modeling. Calculated circuit and magnetic systems.

Key words: mathematical modeling, magnetic systems, magnetostrictive level transmitters, and fuel density, ground vehicles

E-mail: cxelious@gmail.com

Введение. Задача математического моделирования магнитных систем магнитострикционных преобразователей уровня и плотности жидкого топлива

(МПУиП) [1], сводится к получению данных о магнитных параметрах элементов и их анализу, при которых возможно однозначное возбуждение в акустических трактах приборов ультразвуковых (УЗВ) кручения заданной формы и амплитуды. Исходя из практики моделирования магнитных систем на постоянных магнитах [2] с целью упрощения вычислительного процесса, используют следующие ограничения, а именно: материал постоянного магнита намагничен равномерно и однородно; влияние внешних магнитных и электрических полей не учитываются; влиянием экранов и больших ферромагнитных масс пренебрегают. Последнее ограничение предполагает, что защитные оболочки и направляющие элементы МПУиП должны быть выполнены из немагнитных материалов.

В соответствии с концепцией построения предложенного подкласса МПУиП на УЗВ кручения [1], он содержит магнитные системы, состоящие из магнитов подмагничивания индуктивных электроакустических преобразователей (ЭАП), опорных магнитов и магнитов поплавков уровня и плотности. К этим системам можно отнести и распределенные обмотки подмагничивания, выполненные в виде соленоидов, и образующие с I и II -образными звукопроводами из металлического магнитострикционного материала электромагниты.

Известно, что кольцевой постоянный магнит имеет напряженность H_0 магнитного поля внутри примерно в $(h_M / R_M)^2$ - раз выше, чем снаружи при известных значениях его толщины h_M и диаметре $D_M = 2R_M$. К тому же,

кольцевая форма постоянных магнитов поплавковой системы МПУиП позволяет ее располагать соосно с I и II -образными звукопроводами поверх направляющих элементов длиной $L1$, определяющей диапазон преобразований уровня и топлива.

Особый интерес здесь представляет оценка напряженности H_0 магнитного поля на поверхности I и II -образного звукопровода МПУиП, созданного магнитоотрицательным преобразователем Видемана (МПВ), при котором возможно уверенное возбуждение и считывание УЗВ кручения вдоль всего рабочего диапазона длиной L с заданным отношением сигнал/шум. Такое исследование проведем с использованием метода математического моделирования по расчетным схемам проектируемых МПУиП на УЗВ кручения. Для возбуждения в средах I или II -образных звукопроводов МПУиП УЗВ кручения заданной формы необходимо иметь 3 источника магнитного поля [1,2].

Первый источник кругового магнитного поля напряженностью $H_{зп}(t_1)$ создают I и II -образные звукопроводы МПУиП, через которые в моменты времени t_1 электронными блоками приборов подаются токовые импульсы записи длительностью $\tau_{и}$ с периодом следования $T \geq T_{ц}$. В результате, вокруг проводящих звукопроводов МПУиП образуется круговое магнитное поле, напряженность которого описывается известным выражением [3].

Второй источник магнитного поля в виде обмотки подмагничивания с током $i_0(t_1)$ подмагничивания, создает продольное подмагничивающее поле на рабочих участках (ветвях) I и II -образных звукопроводов МПУиП длиной $L1$ с напряженностями [4]:

а) для однослойных обмоток с диаметром D (рис. 1):

$$H_{оп}(t_1) = \frac{i_0(t_1) \cdot W_{оп.1}}{\mu \cdot 2L1} \left[\frac{L1 - 2x_0}{\sqrt{D^2 - (L1 - 2x_0)^2}} + \frac{L1 + 2x_0}{\sqrt{D^2 + (L1 + 2x_0)^2}} \right], \quad (1)$$

б) для многослойной обмотки с внутренним D_1 и внешним D_2 диаметрами (рис. 2):

$$H_{оп}^*(t_1) = \frac{i_0(t_1) \cdot W_{оп.2}}{\mu \cdot 2L1} \left[\frac{L1 - 2x_0}{\sqrt{D_1^2 + (L1 - 2x_0)^2}} + \frac{L1 + 2x_0}{\sqrt{D_1^2 + (L1 + 2x_0)^2}} + \frac{L1 - 2x_0}{\sqrt{D_2^2 + (L1 - 2x_0)^2}} + \frac{L1 + 2x_0}{\sqrt{D_2^2 + (L1 + 2x_0)^2}} \right], \quad (2)$$

где $\mu=1$, $W_{оп}$ – число витков обмотки, x_0 – координата расчетной области вдоль продольной оси x .

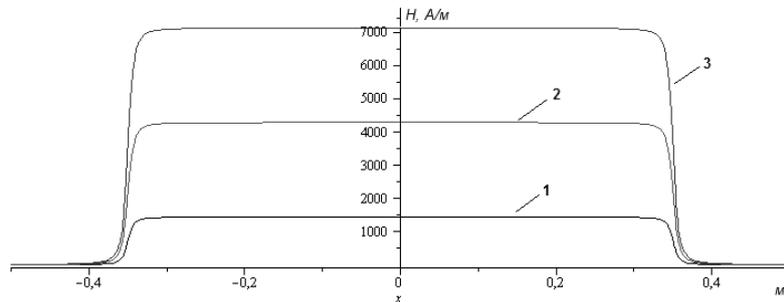


Рисунок 1 – Напряженность подмагничивающего поля однослойных обмоток подмагничивания МПУиП при $L_1=0,7$ м, $W_{оп}=2000$, $D=15$ мм: 1 – $i_0=0,5$ А, 2 – $i_0=1,5$ А, 3 – $i_0=2,5$ А

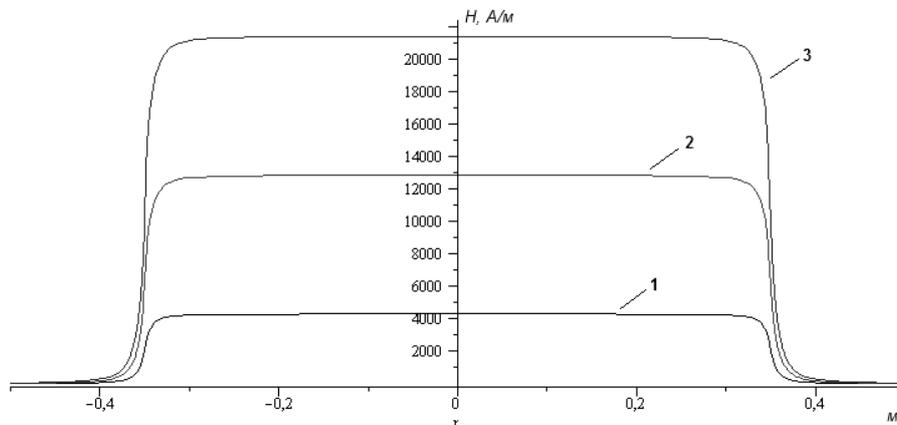


Рисунок 2 – Напряженность подмагничивающего поля многослойных обмоток подмагничивания МПУиП при $W_{оп}=3000$, $D_2=30$ мм: 1 – $i_0=0,5$ А, 2 – $i_0=1,5$ А, 3 – $i_0=2,5$ А

Значения (1), (2) подмагничивающего поля могут изменяться по закону изменения тока подмагничивания $i_0(t_1)$, формируемым электронным узлом МПУиП исходя из требуемого значения сигнала/помеха $U_x(t_1)/U_{оп}(t)$ на текущий момент времени t_1, t по алгоритму:

$$i_0(t_1) = \begin{cases} 1, U_x(t_1) \geq U_{оп}(t) \\ 0, U_x(t_1) < U_{оп}(t) \end{cases} \leq i_{доп}(t), \quad (3)$$

в диапазоне предельно допустимого тока подмагничивания $i_{доп}(t) = E_{п}(t) \times S_{оп} / (\rho_{оп} \cdot L_{оп})$, где $S_{оп}$, $\rho_{оп}$, $L_{оп}$ – площадь поперечного сечения, удельное сопротивление и длина обмоточного провода обмотки подмагничивания.

Если два первых источника магнитного поля акустических трактов МПУиП являются импульсными, то третьи источники продольного магнитного поля являются постоянными и образованы постоянными магнитами поплавков уровня и плотности, и опорными магнитами [1].

Расчетная схема сигнальных МПВ поплавков уровня и плотности МПУиП на УЗВ кручения приведена на рисунке 3. Здесь внутренняя поверх-

ность кольцевого магнита сопряжена с рабочей поверхностью звукопровода МПУиП через диэлектрические зазоры $a3$, $a4$. В диэлектрическом зазоре $a3$ расположена обмотка подмагничивания с усредненным радиусом R_{cp} .

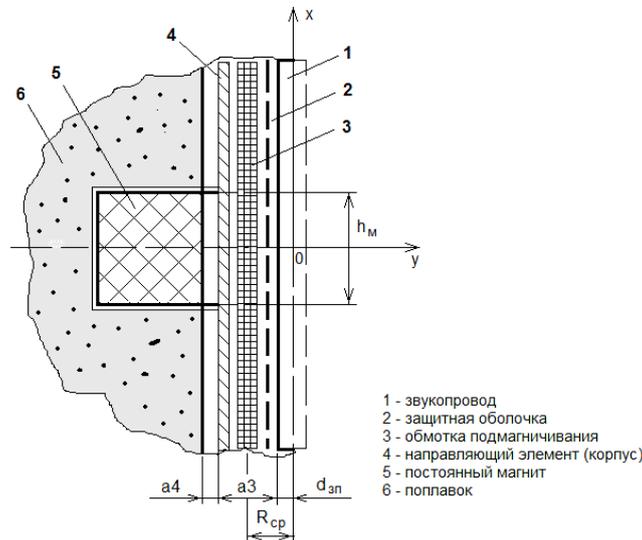


Рисунок 3 – Расчетная схема для моделирования МПВ поплавков уровня и плотности МПУиП на УЗВ кручения

В рабочем пространстве такого МПВ создается продольное стационарное магнитное поле с напряженностями $H_0(x,0)$ и $H_0(0,y)$, которые можно описать выражениями, полученными на основе известных соотношений [4]:

а) аксиальная (по оси x , рис. 3):

$$H_0(x,0) = \frac{M}{2} \cdot \frac{h_M}{(R_M - r_M)} \left\{ \begin{aligned} & \ln \frac{R_M + \sqrt{R_M^2 + l_1^2}}{r_M + \sqrt{R_M^2 + l_1^2}} - \frac{1}{4l_1^2} \times \\ & \times \left[\frac{R_M^3}{(R_M^2 + l_1^2)^{3/2}} - \frac{r_M^3}{(r_M^2 + l_1^2)^{3/2}} \right] (2x_0^2 - y_0^2) + K_1 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

б) радиальная (по оси y , рис. 3):

$$H_0(0,y) = \frac{M}{h_M} \cdot \frac{1}{4(R_M - r_M)} x_0 y_0 \left[\frac{R_M^3}{(R_M^2 + l_1^2)^{3/2}} - \frac{r_M^3}{(r_M^2 + l_1^2)^{3/2}} \right] + K_2, \quad (5)$$

здесь $M = const$ – намагниченность магнита, $R_M > r_M$ – его внешний и внутренний радиусы, $l_1 = h_M / 2$ – полутолщина магнита, x_0, y_0 – текущие координаты, K_1, K_2 – корректирующие коэффициенты ряда.

Для проведения исследований параметров магнитных полей постоянных магнитов поплавков уровня и плотности МПУиП методом математического моделирования, необходимо полученные выражения (3) и (4) записать через параметры эквивалентных с магнитами соленоидов, т.е. использовать известный метод эквивалентного соленоида [2-7].

Сигнальные МПВ МПУиП, расположенные вдоль акустических трактов, создают результирующие магнитные поля (1) или (2), которые являются

источниками возбуждения в средах *I* и *II*-образных звукопроводов УЗВ кручения, если достигнуты требуемые соотношения магнитных параметров элементов магнитных систем на момент времени t_1 записи:

$$H^2(t_1) = [H_{зп}(t_1) + H_{оп}(t_1)]^2 + H_0^2, \quad (6)$$

где $H(t_1)$ – результирующее значение напряженности магнитного поля МПВ; $H_{зп}(t_1)$ – напряженность поля, создаваемое проводящим звукопроводом; $H_{оп}(t_1)$ – напряженность поля обмотки подмагничивания; H_0 – напряженность поля магнита сигнального МПВ.

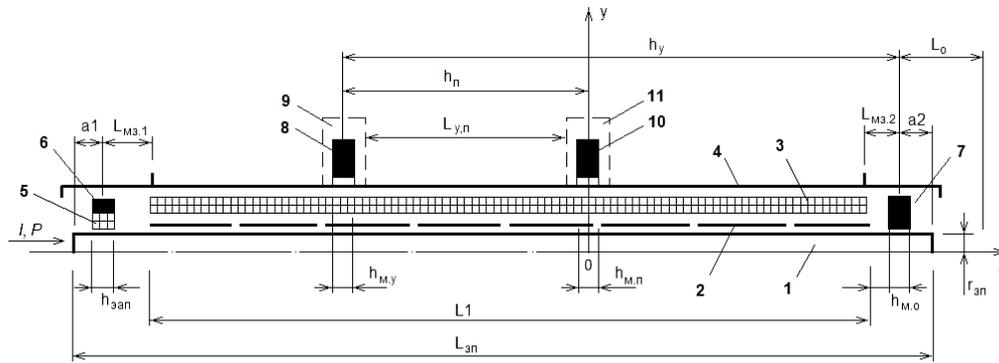
На рабочих участках звукопроводов МПУиП опорными магнитами и звукопроводами формируются магнитные поля (6) с напряженностями:

$$H_{0.1}^2(t_1) = H_{зп}^2(t_1) + H_0^2, \quad (7)$$

$$H_{0.2}^2(t_1) = H_{зп}^2(t_1) + H_0^2, \quad (8)$$

Приведенные уравнения (6-8) справедливы при соблюдении одноименной полярности магнитных полей элементов магнитных систем МПУиП на УЗВ кручения ТСМ ТС.

Исследование магнитной системы МПУиП, на примере одного из вариантов, проведем по расчетной схеме рисунка 4.

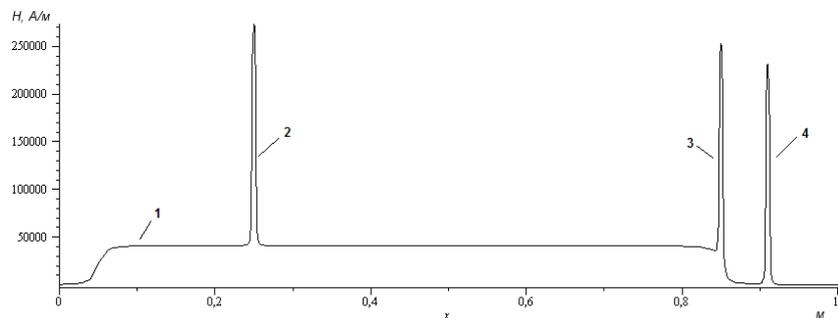


1 - звукопровод, 2 - защитная оболочка, 3 - обмотка подмагничивания, 4 - направляющий элемент (корпус), 5 - индуктивный ЗАП, 6 - магнит подмагничивания, 7 - опорный магнит, 8, 10 - магниты поплавков уровня и плотности, 9, 11 - уровня и плотности

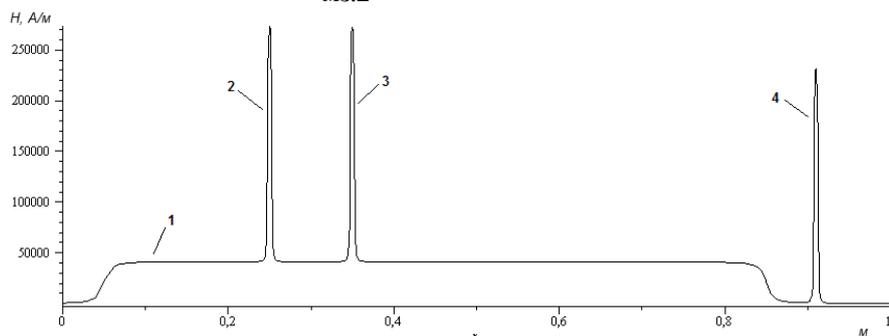
Рисунок 4 – Расчетная схема для моделирования магнитной системы МПУиП: P – растягивающее усилие, $L_{мз.1}$, $L_{мз.2}$ – длины «мертвых» зон, $L_{у.п}$ – минимально допустимое осевое расстояние между магнитами поплавков уровня и плотности, $h_{зап}$,

$h_{м.у}$, $h_{м.п}$, $h_{м.о}$ –толщина магнитов магнитной системы

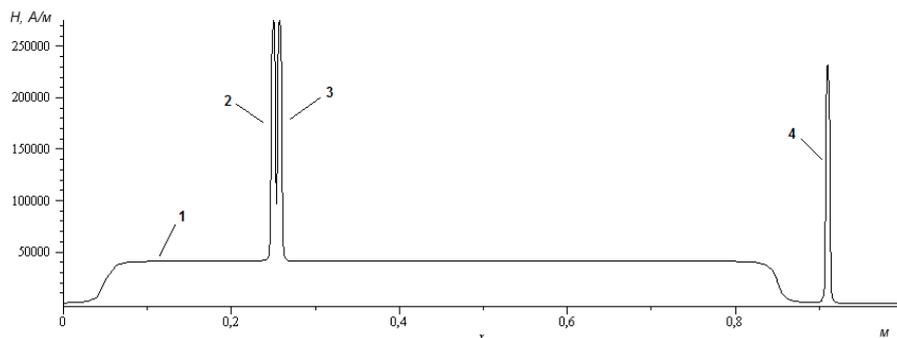
Исследование магнитной системы МПУиП с *I*-образным звукопроводом методом математического моделирования, показывает, что имеет место взаимовлияние магнитов поплавков уровня и плотности, и опорного магнита с магнитом поплавок плотности. Результаты этих исследований по математическим моделям (6-8) магнитных полей МПУиП приведены на рисунке 5.



а) Расстояние $L_{МЗ,2} = 50\text{мм}$ между магнитами 3 и 4



б) Расстояние $L_{У,П} = 100\text{мм}$ между магнитами 2 и 3



в) Минимальное расстояние $L_{У,П} = (9-10)\text{мм}$ между магнитами 2 и 3

Рисунок 5 – Картины напряженностей полей H магнитных систем МПУиП при разных положениях магнитов 2,3 поплавков уровня и плотности относительно обмотки 1 подмагничивания и опорного магнита 4

Здесь видно, что при уменьшении расстояния между магнитами поплавок уровня и поплавок плотности до $L_{У,П} \leq (9-10)$ мм наблюдается слияние магнитных полей двух этих элементов, и МПУиП перестает выполнять функцию измерения плотности топлива ТС. Аналогичные искажения возможны при сближении магнита поплавок плотности и опорного магнита на недопустимое расстояние $L_{МЗ,2} \approx 10$ мм в пределах длины $L1$ обмотки подмагничивания.

Помимо этого, в зонах «критического» сближения магнитов поплавков уровня и плотности, магнита поплавок плотности и опорного магнита, возрастают силы аксиального магнитного притяжения. При больших значениях этих сил, они могут сделать МПУиП неработоспособным.

Исходя из этого, для обеспечения работоспособности МПУиП ограничивают ходы магнитов поплавок плотности до минимально расчетного значения $L_{у.п}$, и устанавливают заданное значение $L_{МЗ.2}$. Размер другой мертвой зоны $L_{МЗ.1}$ устанавливается по значениям влияния магнитного поля магнита поплавок уровня на магнит подмагничивания ЭАП. В зависимости от значения плотности магнитной энергии магнитов размер этой зоны может находиться в диапазоне значений $L_{МЗ.1} = (10 - 30)$ мм.

Выводы. Анализ расчетных схем МПУиП на УЗВ кручения показывает, что размещение на I или ветви II -образного звукопровода одновременно два поплавок с магнитами, уменьшает диапазон преобразования уровня прибора на значение рабочего хода поплавок плотности. В расчетных схемах МПУиП магниты поплавков уровня могут находиться на одном горизонте друг с другом. Между ними возникают поперечные силы взаимодействия, которые, как известно, примерно в $(h_M / R_M)^2$ слабее продольных сил. Поперечные расстояния между магнитами поплавков уровня МПУиП с II -образными звукопроводами ограничивают диаметры самих поплавков и поплавоквый зазор. В силу малости поперечных сил взаимодействия они не исследуются. Правильность суждения о распределении магнитной энергии между элементами магнитных систем МПУиП на УЗВ кручения ТСМ ТС по расчетным схемам можно установить по результатам их моделирования посредством программного пакета ELCUT и проведения физического эксперимента.

Список литературы

1. Патент RU №155410, МПК: G01F23/28, G01F23/30. Адаптивный магнито-стрикционный преобразователь уровня и плотности топлива транспортного средства (его варианты)/ Е.С. Дёмин// Оpubл. 10.10.2015. Бюл. №28.
2. Мокроусов, Д. А. Математическое моделирование постоянных магнитов для возбуждения ультразвуковых волн кручения/ Д. А. Мокроусов, Е. С. Дёмин, Э.В. Карпухин, С.Б. Дёмин// *Materiały X Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Aktualne problemy nowoczesnych nauk - 2014». Volume 23. Matematyka. Chemia i chemiczne technologie. 07-15 czerwca 2014 roku – Przemysł. Nauka i studia.* – Str. 14-28.
3. Демирчян, К.С. Теоретические основы электротехники. Т2/ К.С. Демирчян, Л.Н. Нейман, Н.В. Коровкин. – СПб: Питер, 2009. – 432 с.
4. Чернышев, Е.Т. Магнитные измерения/ Е.Т. Чернышев, Е.Н. Чечурина, Н.Г. Чернышева, Н.В. Студенцов. – М.: Изд-во комитета стандартов, мер и измерительных приборов при совете министров СССР, 1969. – 248 с.
5. Дёмин, С.Б. Магнито-стрикционные системы для автоматизации технологического оборудования: Монография. – Пенза, Изд-во ПГУ, 2002. – 182 с.
6. Калинин, Е.Н. Математическое моделирование факторов влияния на параметры магнито-стрикционных приборов [Текст]/ Е.Н. Калинин, Е.С. Дёмин, С.Б. Демин// – XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2011, – №3. – С.161-167.
7. Арнольд, Р.Р. Расчет и проектирование магнитных систем с постоянными магнитами. – М.: Энергия, 1969. – 184 с.

УДК 004.925.83

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НЕАНАЛИТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

© Ю.Н. Косников, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)

© Хоанг Тхай Хо, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)

MODELING AND VISUALIZATION OF NON-ANALYTIC SURFACES

© Yu.N. Kosnikov, Penza State University (Penza, Russia)

© Hoang Thai Ho, Penza State University (Penza, Russia)

Описаны особенности выполнения геометрического моделирования поверхностей в соответствии с требованиями визуализации. Применяется двухэтапная интерполяция. На первом этапе используются радиальные базисные функции. Результатом являются новые опорные точки, принадлежащие поверхности и равномерно расставленные в пространстве. На втором этапе используется B-сплайновая интерполяция с точным прохождением поверхности через новые опорные точки. Для перехода к полигональной модели поверхности применяется конечно-разностное представление сплайн-функции. Синхронно с вычислением вершин полигональной модели вычисляются координаты корректных нормалей к поверхности.

Ключевые слова: опорная точка, интерполяция, радиальная базисная функция, B-сплайн, метод конечных разностей

Particular features of geometrical modeling of the surfaces are described as consistent with the requirements of the visualization. Two-steps interpolation is applied. Radial basis functions are used on the first step. The result of the step is the set of new reference points that belong to the surface. These point are uniformly distributed in the space. B-spline interpolation with exact passing through reference points of the surface is used on the second step. To go to a polygonal surface model is used finite-difference representation of the spline function.

Key words: reference point, interpolation, radial basis function, B-spline, finite difference method

E-mail: kosnikov@gmail.com

Математическое моделирование поверхностей с целью их дальнейшей визуализации имеет множество приложений. Это научная визуализация, мониторинг динамических объектов, геоинформационные системы, проектирование объектов строительства и архитектуры, транспортные симуляторы и другое. Объекты визуализации могут иметь самую разнообразную форму, в том числе, не имеющую аналитического описания и заданную множеством характерных точек, а отображение таких объектов часто должно идти в режиме реального времени.

Реконструкция поверхности по характерным точкам осуществляется, как правило, интерполяционными методами. Характерные точки используются как опорные точки, в которых размещаются узлы интерполяции. Из математики известен целый ряд методов интерполяции, но если конечной целью создания интерполяционной модели является ее визуализация в режиме реального времени, выбор метода нужно проводить, исходя из особых требований. Нужно учесть, что конечным результатом моделирования объекта должно стать его полигональное представление (полигональная сеть). В его состав входят координаты вершин полигонов и векторов нормалей. Векторы нормалей нужны для моделирования освещенности (затенения) пространственных объектов. Полигональная сеть передается в графический процессор компьютера, который аппаратно поддерживает ее обработку.

Если посмотреть на интерполяцию поверхности с точки зрения ее визуализации, то можно видеть, что известные методы имеют значительные недостатки. Основные требования к интерполяции:

- точное прохождение поверхности через характерные точки (*B*-сплайн-интерполяция этого не позволяет);
- сохранение топологической тенденции в промежутках между опорными точками (метод обратных взвешенных расстояний этого не позволяет);
- гладкость поверхности и отсутствие у нее осцилляций (полиномиальная интерполяция этого не позволяет);
- наличие корректных нормалей к поверхности, проведенных через ее характерные точки (полигональная интерполяция этого не позволяет);
- возможность применить быстрые алгоритмы для вычисления промежуточных точек поверхности и векторов нормалей в этих точках (РБФ-интерполяция этого не позволяет);
- возможность алгоритмически просто получить полигональную модель объекта (интерполяция на неравномерно расставленных узлах этого не позволяет).

Следует также отметить, что неравномерная расстановка опорных точек в пространстве затрудняет применение быстрых сеточных методов моделирования и полигонизации поверхности. Возникает задача выполнения геометрического моделирования и визуализации поверхностей в соответствии с перечисленными требованиями.

Методы. Можно предложить двухэтапную организацию геометрического моделирования неаналитических поверхностей. На первом этапе осуществляется переход от исходных опорных точек к новым опорным точкам, равномерно расставленным в пространстве. Для этого используется интерполяция радиальными базисными функциями. На втором этапе на новых опорных точках выполняется *B*-сплайновая интерполяция. Улучшение формообразующих свойств достигается с помощью расстановки дополнительных опорных точек. Для преобразования сплайновой модели в полигональную сеть применяется метод конечных разностей.

Равномерная расстановка опорных точек с помощью РБФ-интерполяции. На первом этапе моделирования осуществляется переход от исходного описания поверхности к новому описанию, основанному на принадлежащих поверхности равномерно расставленным новым опорных точках. Равномерная расстановка опорных точек позволит в дальнейшем применить более быстрый по сравнению с бессеточным методом сеточный метод интерполяции. На первом этапе используется интерполяция радиальными базисными функциями (РБФ) [1].

Для получения поверхности ядра РБФ размещаются в опорных точках. Координата текущей точки поверхности находится как сумма взвешенных значений РБФ. Степень влияния опорной точки на текущую точку («вес» опорной точки) зависит от расстояния r между ними, а также от вида РБФ, выбранной для опорной точки.

На практике множество опорных точек зачастую описывает поверхность, которая в выбранной системе координат является многозначной. В этом случае вычисление координат промежуточных точек поверхности сопряжено с трудностями. В работе [2] даются рекомендации по рациональному выбору вспомогательной системы координат, в которой моделируемая поверхность описывается однозначной функцией двух аргументов. Перевод опорных точек в

эту вспомогательную систему координат выполняется с помощью известных геометрических преобразований сдвига и поворота. Тогда возникает новое описание поверхности, в которое, кроме координат опорных точек, входят параметры сдвига и поворота. В процессе отображения над поверхностью в составе сцены выполняются различные преобразования динамики, а исходные сдвиг и поворот учитываются как начальная фаза динамики. Если же поверхность имеет сложную конфигурацию и ее описание не может быть простыми средствами переведено в явную форму, то она может быть разбита на более простые фрагменты и промоделирована по частям. Таким образом, поверхность в целом или каждый ее фрагмент могут быть описаны в явной форме.

В случае описания поверхности однозначными функциями для упрощения РБФ-интерполяции можно уменьшить размерность пространства для нахождения r до двух, то есть вычислять не расстояние между самими точками в трехмерном пространстве, а расстояние между проекциями этих точек на поверхность аргументов [3]. В этом случае область влияния каждой опорной точки представляет собой круг. Используя предположение об однозначности функции-интерполянта, поверхность можно описать в следующей форме:

$$z(x, y) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \phi(r_i), \quad r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}, \quad (1)$$

где x, y, z – координаты текущей точки поверхности; r_i – расстояние между i -ой опорной точкой и текущей точкой на плоскости xy ; $\phi(r_i)$ – значение радиальной базисной функции i -ой опорной точки; λ_i – вес i -ой опорной точки; x_i, y_i – координаты i -ой опорной точки на плоскости xy ; N – число опорных точек.

Весовые коэффициенты λ_i находятся из системы линейных уравнений, полученных из (1) для случаев последовательного совпадения текущей точки с известными (опорными) точками поверхности:

$$\begin{cases} \lambda_1 \phi(r_{11}) + \lambda_2 \phi(r_{12}) + \dots + \lambda_N \phi(r_{1N}) = z_1, \\ \lambda_1 \phi(r_{21}) + \lambda_2 \phi(r_{22}) + \dots + \lambda_N \phi(r_{2N}) = z_2, \\ \vdots \\ \lambda_1 \phi(r_{N1}) + \lambda_2 \phi(r_{N2}) + \dots + \lambda_N \phi(r_{NN}) = z_N, \end{cases} \quad (2)$$

где r_{ij} – расстояние между i -й и j -й опорными точками. Решение системы (2) возможно, например, методом Гаусса.

Оценена погрешность интерполяции поверхности с применением РБФ и описанием интерполянта в явной форме. В качестве тестовой поверхности выбрана поверхность, описываемая функцией Франке [4]. Для оценки использованы следующие функции: гауссиан, мультиквадрик, инверсный мультиквадрик, квадратичная и кубическая функции Матерна, сплайны Вендланда [5,6]. Они локализованы в пространстве и хорошо подходят для управления формой поверхности. За критерий оценки РБФ принято среднеквадратическое отклонение (СКО) реконструированной поверхности от тестовой. Наименьшее значение СКО получено для квадратичной функции Матерна. При шаге обхода 0,2, которому соответствует размерность сетки новых опорных точек в 46 шагов, величина СКО составляет 0,0019, что говорит о возможности применения описанного подхода [7].

***B*-сплайновая интерполяция с точным прохождением поверхности через опорные точки.** Второй этап геометрического моделирования – переход к сеточной модели с применением интерполяции *B*-сплайнами. *B*-сплайны выбраны потому, что их отсеки легко стыкуются в гладкую протяженную поверхность. Для перехода к сплайновой модели необходимо обойти поверхность (1) с заданным шагом по координатам-аргументам. Полученные значения x, y, z дают новые опорные точки поверхности. Они используются впоследствии в качестве вершин характеристических многогранников сплайновых отсеков. Их проекции на плоскость xy расставлены равномерно.

Традиционное параметрическое описание *B*-сплайнового отсека поверхности с номерами i и j , построенного на 16 опорных точках

$$\begin{matrix} BP_{i-1,j-1}, & BP_{i-1,j}, & BP_{i-1,j+1}, & BP_{i-1,j+2}, \\ BP_{i,j-1}, & BP_{i,j}, & BP_{i,j+1}, & BP_{i,j+2}, \\ BP_{i+1,j-1}, & BP_{i+1,j}, & BP_{i+1,j+1}, & BP_{i+1,j+2}, \\ BP_{i+2,j-1}, & BP_{i+2,j}, & BP_{i+2,j+1}, & BP_{i+2,j+2}, \end{matrix} \quad (3)$$

которые заданы векторами координат $p_{p,q} = |x_{p,q} \ y_{p,q} \ z_{p,q}|$, где $p = i-1, i, i+1, i+2$ и $q = j-1, j, j+1, j+2$ в матричной форме имеет вид [8]:

$$\mathbf{R} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{N} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{N}^T \cdot \mathbf{V}^T, \quad (4)$$

где: $\mathbf{R} = |x \ y \ z|$ – вектор координат текущей точки отсека поверхности;

$\mathbf{U} = |u^3 \ u^2 \ u \ 1|$ – вектор степеней параметра $u, u \in [0,1]$; $\mathbf{V} = |v^3 \ v^2 \ v \ 1|$ – вектор степеней параметра $v, v \in [0,1]$; \mathbf{P} – матрица, элементами которой являются векторы координат опорных точек; \mathbf{N} – базисная матрица *B*-сплайна:

$$\mathbf{N} = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Если учесть равномерную расстановку опорных точек на плоскости аргументов, можно значительно упростить описание отсека поверхности. Оно примет следующий вид:

$$\begin{aligned} x &= (1-u)x_{i,j} + ux_{i+1,j}; \quad y = (1-v)y_{i,j} + vy_{i,j+1}; \\ z &= \mathbf{U} \cdot \mathbf{N} \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{N}^T \cdot \mathbf{V}^T, \end{aligned} \quad (6)$$

где \mathbf{Z} – матрица высот опорных точек:

$$\mathbf{Z} = \begin{vmatrix} Z_{i-1,j-1} & Z_{i-1,j} & Z_{i-1,j+1} & Z_{i-1,j+2} \\ Z_{i,j-1} & Z_{i,j} & Z_{i,j+1} & Z_{i,j+2} \\ Z_{i+1,j-1} & Z_{i+1,j} & Z_{i+1,j+1} & Z_{i+1,j+2} \\ Z_{i+2,j-1} & Z_{i+2,j} & Z_{i+2,j+1} & Z_{i+2,j+2} \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Отсек рассматривается в своей локальной системе координат. Параметры u и v в данном случае определяют шаги вдоль каждого направления локальной системы координат. Эти направления совпадают с направлениями

координатных осей x и y принятой декартовой системы координат поверхности. При изменении параметров в интервале $[0,1]$ формируется один отсек поверхности. Для перехода к соседнему отсеку нужно заменить численные значения векторов $p_{p,q}$.

Отсек B -сплайна в общем случае не проходит через опорные точки, а только приближается к ним. Это свойство B -сплайна. Чтобы обеспечить точное прохождение поверхности через опорные точки, нужно еще раз изменить их расстановку. Нужно ввести новые опорные точки $BP_{i,j}^*, BP_{i,j+1}^*, BP_{i+1,j}^*, BP_{i+1,j+1}^*$, такие, что отсек поверхности пройдет через исходные точки $BP_{i,j}, BP_{i,j+1}, BP_{i+1,j}, BP_{i+1,j+1}$. Для одного отсека условием прохождения через исходные опорные точки является система из четырех уравнений, полученная подстановкой в выражения (3)–(5) пар значений $u=0, v=0$; $u=0, v=1$; $u=1, v=0$ и $u=1, v=1$. В общем случае на множестве, включающем $M \times N$ опорных точек, можно построить $(M-3) \times (N-3)$ отсеков поверхности. Для нахождения их $(M-2) \times (N-2)$ новых опорных точек нужно записать систему из $(M-2) \times (N-2)$ уравнений из условия прохождения поверхности через исходные опорные точки. Для каждого очередного отсека используются названные подстановки значений: $u=0, v=0$; $u=0, v=1$; $u=1, v=0$ и $u=1, v=1$. Если разделить компоненты уравнений с новыми и исходными координатами, то система уравнений в матричной форме примет вид:

$$\mathbf{M1} \cdot \mathbf{P}^* = \mathbf{M2}, \quad (8)$$

где \mathbf{P}^* – матрица векторов $p_{p,q}^*$ координат новых опорных точек:

$$p_{p,q}^* = \begin{vmatrix} x_{p,q}^* & y_{p,q}^* & z_{p,q}^* \end{vmatrix}; \quad \mathbf{P}^* = \begin{vmatrix} P_{1,1}^* & \dots & P_{1,N-2}^* \\ \dots & \dots & \dots \\ P_{M-2,1}^* & \dots & P_{M-2,N-2}^* \end{vmatrix}; \quad \mathbf{M1} -$$

матрица коэффициентов при координатах новых опорных точек, $\mathbf{M2}$ – матрица свободных членов, включающих координаты исходных опорных точек.

Матрицы $\mathbf{M1}$, $\mathbf{M2}$ являются уникальными для заданного набора контрольных точек, но процесс вычисления элементов матриц хорошо поддается алгоритмизации и выполняется на компьютере. Решение системы уравнений (8), например, методом Гаусса, дает координаты новых опорных точек. При этом, как показывают выражения (6), координаты x и y новых опорных точек совпадут с аналогичными координатами исходных опорных точек.

Если множество опорных точек велико, оно может быть разбито на подмножества, для которых координаты новых опорных точек будут находиться раздельно. Для гладкой стыковки получившихся фрагментов поверхности соответствующие им подмножества опорных точек должны частично перекрываться. Количество общих опорных точек соседних подмножеств определяет погрешность моделирования поверхности.

Составная поверхность, состоящая из B -сплайновых отсеков, не проходит через крайние опорные точки, что при проектировании объектов может быть нежелательным. Чтобы поверхность проходила через все опорные точки, надо добавить несколько дополнительных крайних точек. Эти точки размеща-

ются на небольшом расстоянии от крайних точек исходного множества, в том числе и в диагональных направлениях.

Таким образом, результатом предварительных вычислений является множество координат опорных точек, найденных из условий точного прохождения через них отсеков B -сплайна. Нахождение текущей точки B -сплайновой поверхности предполагает вычисление в системе уравнений (6) двух линейных функций и одной бикубической функции параметров u и v . Последнее выражение в (6) содержит ресурсоемкие операции возведения в степень и перемножения. Вычислительная сложность B -сплайна может быть уменьшена путем применения метода конечных разностей. Этот метод эффективно применяется для вычисления полиномов степени n с помощью n операций суммирования. Вычисление степенной функции параметра t $f(t)$ идет по приращениям

$$\begin{aligned} \Delta_{t(m+1)}^0 &= \Delta_{tm}^0 + \Delta_{tm}^1, & \Delta_{t0}^0 &= f(t)|_{t=0}, \\ \Delta_{t(m+1)}^1 &= \Delta_{tm}^1 + \Delta_{tm}^2, & \Delta_{t0}^1 &= \Delta_t^1|_{t=0}, \\ & \dots & & \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \Delta_{t(m+1)}^{n-1} &= \Delta_{tm}^{n-1} + \Delta_t^n, & \Delta_{t0}^{n-1} &= \Delta_t^{n-1}|_{t=0}, \\ & & \Delta_t^n &= \text{const}, \end{aligned}$$

где Δ_t^s – конечная разность порядка s ($s=0,1,2,\dots$) по параметру t , причем $\Delta_t^0 = f(t)$; Δ_{t0}^s – начальное значение конечной разности (при $t=0$); m – номер шага вычислений.

Для применения конечно-разностных формул нужно перейти к записи (6) в виде степенных многочленов:

$$z = \sum_{j=0}^3 \sum_{i=0}^3 C_{ij} u^i v^j, \quad (10)$$

где C_{ij} – коэффициенты формы, определяющие конфигурацию отсека.

Для каждого отсека квадратная матрица \mathbf{C} , содержащая 16 коэффициентов формы C_{ij} , связана с координатами опорных точек матричной зависимостью

$$\mathbf{C} = \mathbf{N} \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{N}^T. \quad (11)$$

Обобщенно выражение (6) в виде степенного многочлена выглядит следующим образом:

$$z(u, v) = \frac{1}{36} [f_0(u) + v f_1(u) + v^2 f_2(u) + v^3 f_3(u)], \quad (12)$$

где $f_0(u)$, $f_1(u)$, $f_2(u)$, $f_3(u)$ – кубические функции параметра u , которые могут рассматриваться как функциональные коэффициенты функций параметра v . Тогда поверхность может разворачиваться вдоль координатных направлений u, v по выражениям (9), причем начальные значения конечных разностей по параметру u будут являться функциями параметра v . В процессе разворачивания промежуточные точки становятся вершинами полигональной сети.

Улучшение внешнего вида изображения. Для моделирования освещенности полигонального объекта необходимо знать направления нормалей к полигонам. В декартовой системе координат вектор нормали \bar{N} задается тройкой своих координат n_x , n_y и n_z . Традиционно нормали вычисляются в каждой вершине каждого полигона. Затем координаты нормалей, проведенных через общие для нескольких полигонов вершины, усредняются. Процесс усреднения нормалей занимает много компьютерного времени. Другой способ получения нормалей – вычисление их направлений к поверхности сплайна. В этом случае описание нормали в каждой вершине отсека сразу получается корректным и не нуждается в операциях усреднения.

Компоненты нормального вектора, проведенного через i -ю точку параметрически заданной поверхности, описываются известными уравнениями:

$$n_{xi} = \begin{vmatrix} \left(\frac{\partial y}{\partial u}\right)_i & \left(\frac{\partial z}{\partial u}\right)_i \\ \left(\frac{\partial y}{\partial v}\right)_i & \left(\frac{\partial z}{\partial v}\right)_i \end{vmatrix}, \quad n_{yi} = \begin{vmatrix} \left(\frac{\partial z}{\partial u}\right)_i & \left(\frac{\partial x}{\partial u}\right)_i \\ \left(\frac{\partial z}{\partial v}\right)_i & \left(\frac{\partial x}{\partial v}\right)_i \end{vmatrix},$$

$$n_{zi} = \begin{vmatrix} \left(\frac{\partial x}{\partial u}\right)_i & \left(\frac{\partial y}{\partial u}\right)_i \\ \left(\frac{\partial x}{\partial v}\right)_i & \left(\frac{\partial y}{\partial v}\right)_i \end{vmatrix}. \quad (13)$$

Из уравнений (6),(12) легко видеть, что $\frac{\partial x}{\partial v} = \frac{\partial y}{\partial u} = 0$, $\frac{\partial x}{\partial u} = \frac{\partial y}{\partial v} = const$, а $\frac{\partial z}{\partial u}$ и $\frac{\partial z}{\partial v}$ являются полиномами степени не выше, чем степень (12). Тогда выражения (13) также являются полиномами степени не выше, чем степень (12). Это означает, что они могут вычисляться методом конечных разностей по выражениям (9) синхронно с вычислением координат вершин полигональной сети. Полигональная модель объекта в виде координат вершин и координат нормалей передается в графический процессор.

На рисунке 1 показаны результаты этапов моделирования неаналитической поверхности от неупорядоченного множества опорных точек до изображения.

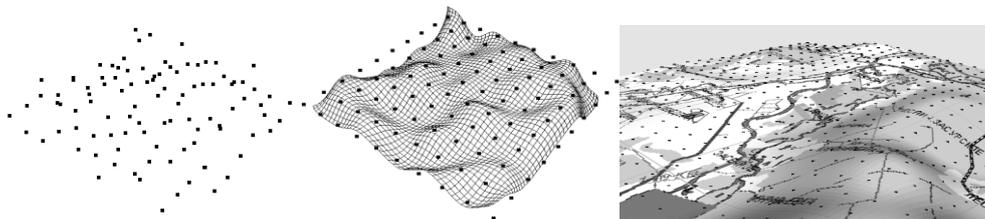


Рисунок 1 – Моделирование неаналитической поверхности

Заключение. Геометрическое моделирование неаналитических поверхностей для графических приложений необходимо выполнять в соответствии с требованиями визуализации. Эффективным решением является двухэтапная интерполяция. Оба этапа легко алгоритмируются. Переход к упорядоченным опорным точкам позволяет применить быструю сеточную интерполяцию В-сплайнами. Для ускорения перехода к полигональной модели применяется конечно-разностное представление сплайн-функции и нормалей к поверхности. Эксперимент показал хорошие изобразительные возможности описанного подхода.

Список литературы

1. Александрова Н.В., Зимин А.П., Косников Ю.Н., Хоанг Тхай Хо. Смешивающие функции в геометрическом моделировании и визуализации поверхностей свободных форм // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. Научное периодическое издание. Серия: Технические науки. Информационные технологии. – Пенза: Изд-во ПГТУ, 2015, №03(25). – Т.1 С. 51 – 60.
2. Косников Ю.Н. Методика и технология компьютерного моделирования поверхностей свободных форм с применением радиальных базисных функций // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. Научное периодическое издание. Серия: Технические науки. Информационные технологии. – Пенза: Изд-во ПГТУ, 2014, №03(19). С. 176 – 183.
3. Kosnikov Yu.N. Increasing the information capacity of the interface of the control system for multyparametric objects // 9th International Conference «Application of Information and Communication Technologies – AICT2015»: Conference Proceedings / 14 – 16 October 2015, Rostov-on-Don, Russia. – P.446 – 449.
4. Franke R. A Critical Comparison of Some Methods for Interpolation of Scattered Data. PhD thesis. – Naval Postgraduate School Monterey. – California. – 1979.
5. Interpolating Implicit Surfaces From Scattered Surface Data Using Compactly Supported Radial Basis Functions / Bryan S. Morse, Terry S. Yoo, Penny Rheingans, David T. Chen, K. R. Subramanian // SMI 2001 International Conference, May 2001. P. 89–98.
6. Wendland H. Piecewise polynomial, positive definite and compactly supported radial functions of minimal degree // *Adv. Comput. Math.* 1995. V.4. P. 389–396.
7. Косников Ю.Н., Александрова Н.В. О применении геометрических форм в вычислительных системах графического назначения // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. Научное периодическое издание. Серия: Технические науки. Информационные технологии. – Пенза: Изд-во ПГТУ, 2013, №10(14). – С.124 – 130.
8. David F. Rogers, J. van Adams. *Mathematical Elements for Computer Graphics*. 2nd ed. McGraw-Hill Publishing Company, New York, 1990.

УДК 51.74
ББК 30

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
АНАЛИЗАТОРА АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА**

© *А.Ф. Зубков, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

© *Л.В. Корогодина, МБОУ МГ №4 «Ступени», г. Пенза, Россия*

© *Н.В. Назарова, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

**MATHEMATICAL MODEL
OF THE ACOUSTIC SIGNAL ANALYZER**

© *A.F. Zubkov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *L.V. Korogodina, Gymnasium №4 «Steps» (Penza, Russia)*

© *N.V. Nazarova, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье приводится математическое описание речевого сигнала на основе построения вероятностной модели. В качестве математической модели авторы рассматривают динамическую систему. Математические зависимости позволяют: определить информационный объем оцифрованного речевого сигнала с допустимой ошибкой; вычислить скорость передачи звукового сигнала; оценить влияние звуков на психическое состояние человека; на основе метода регрессионного анализа количественно оценить передаваемую информацию.

Ключевые слова: акустический сигнал, вероятностная модель, анализатор, оператор системы, информационный объем.

The article gives a mathematical description of the speech signal on the basis of constructing a probabilistic model. As a mathematical model for the time authors consider a dynamical system. Mathematical dependences allow: to determine the amount of information of the digitized speech signal with a permissible error; calculate the speed of sound signal; assess the impact of sounds on the mental state of a person.

Key words: The acoustic signal, the probabilistic model, the analyzer, the system operator, information volume.

E-mail: zubkov@pgta.ru. nn07@mail.ru.

Современное развитие компьютерных технологий, совершенствование методов системного анализа позволяет описать речевой сигнал (детерминированный или случайный) математической моделью, характеризующей изменение параметров данного сигнала [1]. Потенциалом повышения эффективности передачи речевого сигнала является использование его нестационарных свойств.

Разработка алгоритмов оценивания изменяющихся характеристик сигнала, а также алгоритмов работы кодеков, требует построения вероятностной модели речевого сигнала.

В качестве модели рассмотрим динамическую систему с параметрами, где оператор системы обозначен символом Π (рисунок 1).

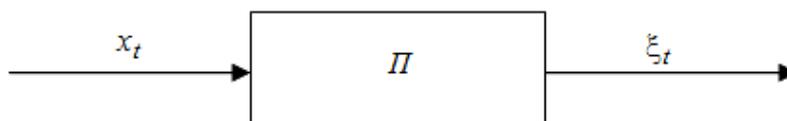


Рисунок 1 - Динамическая модель образования речевого сигнала

Оператор системы для каждой реализации входной последовательности речевого сигнала x_t ставит в соответствие реализацию выходной последовательности ξ_t , рассчитываемую по зависимости:

$$\xi_t = \Pi x_t. \quad (1)$$

Нестационарные свойства речевых сигналов описываются изменением параметров оператора Π .

В случае если выходная последовательность ξ_t считается последовательностью интегрируемых в квадрате некоррелированных случайных величин, а линейный оператор Π описан в частотной области, то обработка речевого сигнала состоит из спектрального анализа сигнала. По результатам анализа определяются резонансные частоты системы. Обработка выполняется в частотной области и сводится к идентификации частотных характеристик линейной модели.

Например, оператор Π задан во временной области линейным уравнением авторегрессии

$$\begin{cases} x_t = \sum_{i=1}^m a_i x_{t-1} + b \xi_t, \\ M(x_t) = M(\xi_t) = 0, \\ M(x_t^2) < \infty, \\ t = 0. \end{cases}, \quad (2)$$

где $i = 1, 2, \dots, m -$ параметры авторегрессии;

$$M(x_t) = \bar{x}_t = \sum_{i=1}^m a_i x_{t-1} - \text{оценка одношагового предсказания значения } x_t.$$

Речевой сигнал оценивается параметром a_i по наблюдаемой реализации последовательности x_t , т.е. в параметрической идентификации динамической системы во временной области. Цифровая одноканальная система передачи представлена структурной схемой (рисунок 2).

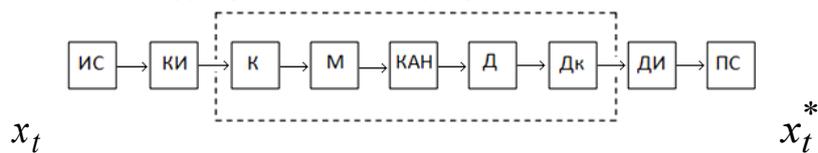


Рисунок 2- Цифровая система передачи сигнала

где x_t - передаваемый речевой сигнал (сообщение); x_t^* - восстановленный сигнал на приёмной стороне; ИС и ПС – источник и получатель сообщения;

М, Д – модулятор и демодулятор; КИиДИ – кодер и декодер источника;

КиДк – кодер и декодер канала; КАН – канал передачи сигнала.

Речевое сообщение формирует стохастический сигнал в непрерывном или дискретном времени. Отображение этого сигнала в цифровую последовательность осуществляет кодер источника. В декодере источника восстанавливается

сигнал x_t^* . Отображение в кодере взаимнооднозначное. Для идеального случая выполняется условие $x_t = x_t^*$.

Отображение, осуществляемое в кодере, не является взаимнооднозначным из-за необходимости квантования по уровню, что не дает точно восстановить последовательность источника даже при идеальном канале. Искажения можно описать средней квадратичной ошибкой

$$D(x_t) = M(x_t - x_t^*)^2 = (\bar{\varepsilon})^2 \quad (3)$$

В соответствие с теоремой Котельникова $\Delta t = \frac{1}{2f_m}$ граничная частота

в спектре спектра последовательности x_t

$$f_m = \frac{1}{2\Delta t} = \frac{f_A}{2} \quad (4)$$

где $f_D, \Delta t$ - соответственно частота и шаг временной дискретизации.

Скорость передачи речевого сигнала C последовательности x_t по идеальному каналу рассчитывается по зависимости

$$C = 2f_m \log_2 N, \quad (5)$$

где N – число квантовых значений x_t .

Величина C определяет информационный объём оцифрованного речевого сигнала, N определяется допустимой ошибкой $(\bar{\varepsilon})^2$, которую называют «эпсилон-энтропией» или функцией «скорость–искажение». Для некоторого класса источников речевого сообщения величину C_0 можно рассчитать из условия оптимизации:

$$\begin{cases} C_0 \rightarrow C_{\min}, \\ (\bar{\varepsilon})^2 = (\bar{\varepsilon})^2_{\text{зад.}} \end{cases} \quad (6)$$

Пусть X_t - стационарная гауссовская последовательность с ограниченной и интегрируемой спектральной плотностью мощности $G_x(w)$, тогда C_0 определяется по формуле:

$$C_0 = \frac{1}{4\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \log_2 \max\{\theta, G_x(w)\} dw \quad (7)$$

Допустимая ошибка определяется по зависимости:

$$D(x_t) = (\bar{\varepsilon})^2 = \frac{1}{4\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \log_2 \min\{\theta, G_x(w)\} dw \quad (8)$$

где θ – параметр, определяемый из формулы (8) по заданным значениям $G_x(w)$, $(\bar{\varepsilon})^2$; w – круговая частота.

Для скорости передачи C используем отношение $\eta = \frac{C_0}{C} \leq 1$, которое называют «информационная эффективность» цифровой передачи. Завышение скорости приводит к плохому использованию канала и порождает дополнительные трудности при построении сетей и систем связи.

Условия (7) и (8) определяют стационарные источники передачи речевого сигнала и не дают полного представления о минимальной скорости передачи речевых сигналов, что определяется двумя факторами.

Первый фактор определяет нестационарный речевой сигнал X_t . Законы изменения его вероятностных характеристик во времени пока мало изучены. На участках произнесения согласных и гласных звуков они колеблются по признаковым шкалам и разделены на зоны существенных отклонений (таблица 1) [2].

Признаковые шкалы позволяют оценить влияние звуков на психическое состояние человека по разработанным экспериментаторами двадцати пяти шкалам. С помощью разработанного «Компьютерного анализатора» можно получить поэлементный количественный и качественный анализ сигнала по предложенным шкалам значимости [3]. Экспериментальные данные лингвистической теории позволяют провести регрессионный анализ достоверности полученных данных с помощью метода наименьших квадратов [4].

Второй фактор связан с критерием верности передачи, свойственным получателю. Действительный критерий восприятия отличается от распространённого критерия средней квадратической ошибкой, контролирующего отклонение «форм реализаций» X_t и X_t^* .

Таблица 1 – Классификация зон отклонений

№	Величина	Название зоны
1	(1,...,2.5)	хорошая
2	(2.5,...,3.5)	нейтральная
3	(3.5,...,5)	плохая

Воспользоваться непосредственно результатами теории передачи информации для расчёта энтальпии источника речевого сигнала затруднительно. Полученная статистика по пропускной способности канала передачи, метод регрессионного анализа ключевых слов источника и получателя речевого

сигнала позволяют оценить количественно передаваемую информацию [5]. Построенные регрессионные модели входного сигнала ставят в соответствие вероятность реализации выходного сигнала.

Предложенное математическое моделирование позволяет:

- 1) определить информационный объем оцифрованного речевого сигнала с допустимой ошибкой;
- 2) вычислить скорость передачи звукового сигнала C – «информационную эффективность»;
- 3) оценить влияние звуков на психическое состояние человека по разработанным шкалам;
- 4) на основе метода регрессионного анализа количественно оценить передаваемую информацию.

Список литературы

1. Рабинер, Л.Р., Цифровая обработка речевых сигналов: Л.Р. Рабинер, Р.В. Шафер Пер. с англ./ Под ред. М.В. Назарова, Ю.Н. Прохорова. – М.: Радио и связь, 1983.- 247 с.
2. Журавлёв, А.П. Звуки и смысл /А.П. Журавлёв. – М.: Просвещение, 1987. - 155 с.
3. Новиков, Ф.А. Дискретная математика, Ф.А. Новиков - П.: «Питер», 2004.- 301 с.
4. Зубков, А.Ф. Компьютерное моделирование в лингвистических задачах / А.Ф. Зубков, Л.В. Корогодина, И.В. Чернышев – XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего, Пенза: ПГТА, 2008.- С. 141-144.
5. Зубков, А.Ф. Компьютерное моделирование в средствах массовой информации/А.Ф. Зубков, Л.В. Корогодина, И.В. Чернышев – XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. Пенза: ПГТА, 2009.- С. 138-142.

УДК 621.382

ББК 22

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ КИХ-ФИЛЬТРОВ, РЕАЛИЗУЕМЫХ НА ПЛИС

© *И.В. Ушенина, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

DESIGN AND ANALYSIS OF PARALLEL FIR FILTERS INTENDED FOR FPGA IMPLEMENTATION

© *I.V. Ushenina, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье рассматривается процесс проектирования КИХ-фильтров с параллельной структурой, предназначенных для реализации на ПЛИС. Этапы формирования спецификации, расчета коэффициентов фильтра и анализа эффектов конечной разрядности выполняются в среде MATLAB. Реализация фильтра выполняется с использованием среды WebPACK ISE.

Ключевые слова: КИХ-фильтр, ПЛИС, FPGA, эффекты конечной разрядности, формат с фиксированной запятой, параллельные структуры КИХ-фильтров

This paper considers the process of design and analysis of parallel FIR filters intended for implementation on FPGA. The stages of filter specification creating and coefficients calculating as well as finite word-

length effects analysis are carried out in MATLAB. Filter implementation is accomplished using ISE WebPACK design software.

Key words: FIR filter, FPGA, finite word-length effects, fixed-point number representation, parallel structures of FIR filters

E-mail: iv123@yandex.ru

Проектирование цифрового фильтра – многоступенчатый процесс, который может быть разделен на пять этапов [1]: 1) формирование спецификации; 2) выбор типа фильтра и расчет его коэффициентов; 3) анализ эффектов конечной разрядности; 4) выбор структуры фильтра; 5) реализация фильтра на целевой элементной базе.

Содержание и трудоемкость каждого из этапов зависят от требований, указанных в спецификации, инструментов проектирования, а также от особенностей элементной базы.

Выбор устройства для реализации цифрового фильтра осуществляется, как правило, между специализированными сигнальными процессорами, микроконтроллерами и ПЛИС [2]. Выбор в пользу ПЛИС делается, если приоритетным требованием является одновременное выполнение большого количества операций – как, например, в [3-5]. Недостатком ПЛИС может стать формат с фиксированной запятой, используемый в ПЛИС в большинстве случаев. Данный формат требует учета эффектов конечной разрядности при проектировании фильтра [1, 6].

В настоящей работе рассматривается процесс проектирования КИХ-фильтров параллельной структуры, предназначенных для реализации на ячейках цифровой обработки сигналов (ЦОС-ячейках) ПЛИС *FPGA* [7]. Процесс проектирования разбит на этапы, перечисленные выше. Расчеты на первых трех этапах ведутся в среде *MATLAB*, причем особое внимание уделяется анализу эффектов конечной разрядности и инструментам этого анализа; реализация фильтра осуществляется в среде *ISE WebPACK 14.4* фирмы *Xilinx*.

Формирование спецификации и расчет коэффициентов. В спецификацию проектируемого фильтра вносятся частоты, ограничивающие полосы пропускания и заграждения, требования к коэффициенту подавления в зоне заграждения, форме АЧХ в полосе пропускания, ширине переходных зон (рисунок 1, таблица 1).

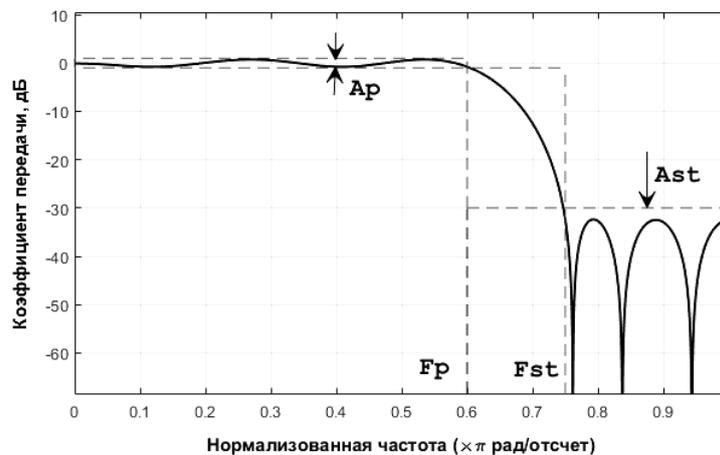


Рисунок 1 – Спецификация цифрового фильтра (пунктир) и вариант реализации фильтра по спецификации

Таблица 1 – Параметры, используемые в среде MATLAB в спецификациях фильтров

Обозначение	Параметр
A_p	Допустимый размах колебаний коэффициента передачи фильтра по амплитуде в полосе пропускания, выраженный в дБ.
A_{st}	Коэффициент ослабления фильтра по амплитуде в полосе подавления, выраженный в дБ.
F_p	Граничная частота полосы пропускания
F_{st}	Граничная частота полосы подавления
F_c	Частота в переходной зоне между F_p и F_{st} , на которой коэффициент передачи фильтра по амплитуде равен -3 дБ (0,707)
N	Порядок фильтра
F_s	Частота дискретизации фильтра

В среде *MATLAB* спецификация фильтра является объектом [8], в котором указываются требуемые параметры фильтра (таблицу 1). После создания спецификации вызывается функция, вычисляющая коэффициенты фильтра. В качестве параметров функции указывается спецификация, а также метод расчета коэффициентов фильтра. Пример *MATLAB*-скрипта создания спецификации и расчета коэффициентов фильтра нижних частот приведен ниже. В скрипте $f1$ – объект-спецификация, $f2$ – фильтр. Для расчета коэффициентов используется оконный метод. Частоты F_p и F_{st} заданы в долях половины частоты дискретизации.

```
f1=fdesign.lowpass('Fp,Fst,Ap,Ast',0.2,0.3,0.1,80);
f2=design(f1,'kaiserwin');
```

Анализ эффектов конечной разрядности. В результате вызова функции *design* получаем набор коэффициентов фильтра, представленных в 64-битном формате с плавающей запятой. Реализация фильтра на ЦОС-ячейках ПЛИС требует перехода к формату с фиксированной запятой, сокращения разрядности коэффициентов фильтра и отсчетов входного сигнала до 18 бит, и, возможно, округления результатов вычислений [7]. Последствия этих мер – шум квантования отсчетов входного сигнала, искажение АЧХ фильтра вследствие квантования коэффициентов, шум округления результатов вычислений и возможные переполнения разрядной сетки в результате суммирования произведений отсчетов входного сигнала на коэффициенты фильтра – называются эффектами конечной разрядности [1].

Анализ эффектов конечной разрядности для КИХ-фильтра позволяет решить две задачи: 1) определить, удовлетворяют ли характеристики фильтра после квантования коэффициентов требованиям спецификации и 2) оценить ухудшение характеристик сигнала на выходе фильтра, вызванное эффектами конечной разрядности.

Искажение АЧХ КИХ-фильтра после квантования его коэффициентов проявляется в увеличении неравномерности АЧХ в полосе пропускания и повышении коэффициента передачи в полосе подавления [1]. Максимальная ошибка АЧХ фильтра после квантования коэффициентов $|E(\omega)|$ может быть найдена из соотношения (1):

$$|E(\omega)| = N \cdot 2^{-B}, \quad (1)$$

где B – разрядность коэффициентов фильтра, N – порядок фильтра [1]. В (1) предполагается наихудший случай, когда шум квантования каждого из коэффициентов максимален и составляет половину шага квантования.

В *MATLAB*-скрипте, приведенном ниже, на основе вектора b коэффициентов созданного ранее фильтра $f2$ создается фильтр f_fp , работающий в формате с фиксированной запятой при разрядности коэффициентов 18 бит. Вектор b формируется с помощью функции *impz*.

Фильтр f_fp создается с помощью функции *dfilt*. Искажение АЧХ фильтра f_fp по сравнению с фильтром $f2$ может быть оценено с помощью функции *fvtool*.

```
b=impz(f2); % получаем вектор коэффициентов ИХ фильтра f2
f_fp=dfilt.dffir(b); % создаем фильтр f_fp
%задаем формат и разрядность коэффициентов f_fp:
set(f_fp,'arithmetic','fixed','CoeffWordLength',18);
fvtool(f_fp);
```

Просмотр характеристик проектируемого фильтра до и после квантования коэффициентов позволяет определить, удовлетворяют ли полученные характеристики требованиям спецификации, и оценить, насколько отличается АЧХ после квантования от исходной. На рисунках 2 и 3 представлены идеальная АЧХ (фильтр $f2$) и АЧХ после квантования коэффициентов (фильтр f_fp). Из рисунков следует, что фильтр f_fp с квантованными до 18 бит коэффициентами удовлетворяет требованиям спецификации.

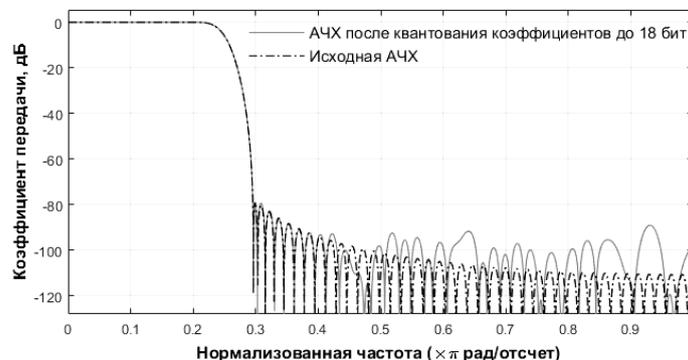


Рисунок 2 – АЧХ проектируемого КИХ-фильтра: до и после квантования коэффициентов

Качество выходного сигнала фильтра может быть оценено отношением сигнал-шум:

$$C/Ш = 10 \lg \frac{P_x}{P_n}, \quad (2)$$

где P_x - средняя мощность сигнала, P_n - средняя мощность шума. При расчете P_x и P_n в качестве шума можно рассматривать разность исходного (x) и отфильтрованного (y) сигналов, тогда

$$C/Ш = 10 \lg \frac{P_x}{P_{x-y}}. \quad (3)$$

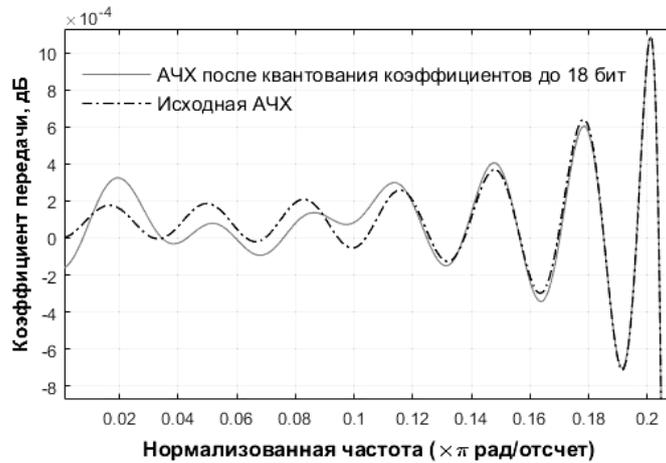


Рисунок 3 – АЧХ проектируемого КИХ-фильтра в полосе пропускания: до и после квантования коэффициентов

Следует заметить, что в (3) в качестве исходного сигнала x берется входной сигнал без добавления компонент, которые подлежат фильтрации, а в качестве отфильтрованного сигнала y – результат фильтрации x с добавлением этих компонент.

Расчет выходного сигнала фильтра после перехода к формату с фиксированной запятой и ограничения разрядности может быть выполнен аналитически с использованием модели, представленной на рисунке 4. Шум квантования отсчетов входного сигнала $\Delta x(k)$ моделируется случайным шумом с равномерным распределением в интервале $[-\frac{q}{2}; \frac{q}{2}]$, где q – шаг квантования АЦП [6]. Шум квантования складывается с входным сигналом $x(k)$, в результате чего получается квантованный сигнал $x_q(k)$, поступающий на вход фильтра.

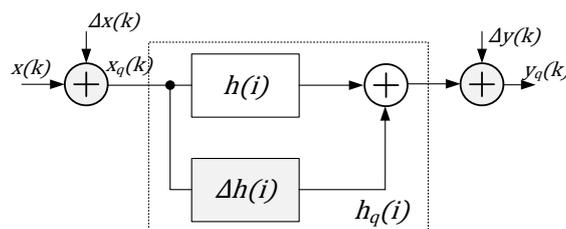


Рисунок 4 – Модель КИХ-фильтра, учитывающая эффекты конечной разрядности

Квантование коэффициентов фильтра $h(i)$ отображается в модели фильтром с коэффициентами $\Delta h(i)$, включенным параллельно с исходным. Коэффициенты $\Delta h(i)$ являются разницей между $h(i)$ и результатами их квантования $h_q(i)$ [1, 6].

Отсчеты выходного сигнала КИХ-фильтра $y(k)$ рассчитываются по формуле (4):

$$y(k) = \sum_{i=0}^{N-1} h(i) \cdot x(k-i) \quad 4)$$

Если B – разрядность $x(k-i)$ и $h(i)$, результаты вычисления произведений $x(k-i) \cdot h(i)$ имеют разрядность $2B$. Если для суммирования произведений необходимо их округление, ошибка округления добавляется к каждой частной сумме произведений, а суммарная ошибка пропорциональна порядку фильтра N . ЦОС-ячейки ПЛИС позволяют оставлять разрядность $2B$ для отдельных произведений и не округлять конечный результат фильтрации $y(k)$. Тем не менее, округление выходного сигнала $y(k)$ может потребоваться, если он подается на вход устройства с меньшей разрядностью – например, ЦАП. Ошибка округления $y(k)$ моделируется случайным шумом с равномерным распределением в интервале $\left[-\frac{q}{2}; \frac{q}{2}\right]$ [6].

Чтобы *MATLAB*-модель фильтра учитывала шумы квантования входного сигнала и округления выходного сигнала, необходимо задать дополнительные параметры функции *dfilt*. В таблице 2 приведены параметры функции *dfilt* и их численные значения, соответствующие возможностям ЦОС-ячеек ПЛИС *FPGA*.

Таблица 2 – Параметры функции *dfilt*, задающие разрядность коэффициентов, отсчетов входного и выходного сигналов, частичных сумм и произведений, режимы округления

Параметр	Значение
<i>CoeffWordLength</i>	Разрядность представления коэффициентов фильтра, 18 бит
<i>CoeffAutoScale</i>	Значение 'true', установленное по умолчанию, позволяет автоматически выбрать количество разрядов для представления дробной части коэффициентов фильтра.
<i>InputWordLength</i>	Разрядность представления отсчетов входных сигналов, 18 бит
<i>FilterInternals</i>	Значение 'SpecifyPrecision' позволяет управлять разрядностью представления частичных сумм произведений и результатов фильтрации (могут быть заданы разрядность переменных и количество разрядов дробной части).
<i>OutputWordLength</i>	Разрядность представления отсчетов выходных сигналов. ЦОС-ячейки позволяют сформировать на выходе 48-разрядный сигнал, но при необходимости разрядность может быть снижена
<i>OutputFracLength</i>	Количество разрядов, выделяемое для хранения дробной части отсчетов выходных сигналов
<i>ProductWordLength</i>	Разрядность представления частных произведений. Умножители ЦОС-ячеек формируют 36-разрядные результаты, которые могут подаваться на сумматоры без округления.
<i>AccumWordLength</i>	Разрядность представления частичных сумм. Сумматоры (аккумуляторы) ЦОС-ячеек принимают на входах и формируют результаты разрядностью до 48 бит, но при необходимости разрядность может быть снижена
<i>RoundMode</i>	Режим округления частичных сумм и отсчетов выходного сигнала
<i>OverflowMode</i>	Режим обработки частичных сумм и отсчетов выходного сигнала при переполнении разрядной сетки

Фильтрация сигнала выполняется с помощью функции *filter*. Отношение сигнал-шум вычисляется функцией *snr*:

```

y=filter(b,1,x+n); % обработка суммы сигнала и шума фильтром f2
snr1=snr(x,x-y); % вычисление отношения сигнал-шум
    
```

Аналогично выглядит скрипт, выполняющий обработку сигнала фильтром с 18-разрядными коэффициентами и рассчитывает для этого фильтра отношение сигнал-шум.

Выбор структуры фильтра. Преимущества ПЛИС перед сигнальными процессорами проявляются при реализации параллельных вычислений. Применительно к цифровым фильтрам это означает, что вычисление всех частных произведений и их сумм, предусмотренных уравнением фильтрации КИХ-фильтра (4), выполняется одновременно.

Среди существующих разновидностей параллельных структур КИХ-фильтров наилучшим образом на ПЛИС реализуется систолическая структура [9]. Ее главное достоинство – сохранение максимальной производительности ЦОС-ячейки.

Реализация фильтра на ЦОС-ячейках ПЛИС. Наиболее быстрый способ реализации цифрового фильтра на ПЛИС *Xilinx* – использование средства *Core Generator*, встроенного в среды проектирования этой фирмы, в частности, в *ISE WebPACK*. *Core Generator* позволяет в автоматизированном режиме создавать устройства различных классов, в том числе цифровые фильтры. В ходе создания фильтра генератор позволяет выбирать его режимы работы, разрядность коэффициентов и данных, набор управляющих сигналов, и т.д. В результате генерируется набор файлов, позволяющих реализовывать созданный фильтр на ПЛИС.

Цифровые устройства, создаваемые *Core Generator*, являются экземплярами модулей интеллектуальной собственности (*Intellectual Property cores, IP-cores*). Для создания КИХ-фильтра используется IP-модуль *FIR Compiler* [10]. *FIR Compiler* позволяет создавать КИХ-фильтры систолической, транспонированной или распределенной структуры на основе вектора коэффициентов, заданного вручную, или импортированного из файла с расширением **.coe*. Файл **.coe* может быть сформирован в *MATLAB* по результатам расчета коэффициентов фильтра.

Для использования в проекте полученный модуль фильтра нужно встроить в файл верхнего уровня этого проекта. На рисунке 5 показан пример встраивания модуля фильтра (*fir_filt*) в схематехнический файл верхнего уровня. Назначение портов схемы приведено в таблице 3.

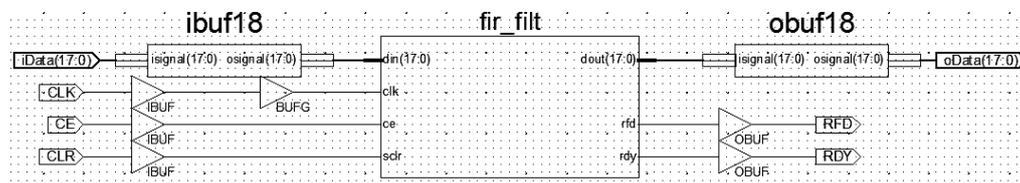


Рисунок 5 – Файл (схема) верхнего уровня проекта со встроенным модулем фильтра

Таблица 3 – Назначение портов модуля фильтра

Порт	Назначение
<i>din(17:0)</i>	Входной сигнал (18-разрядные отсчеты)
<i>clk</i>	Тактовый сигнал
<i>ce</i>	Сигнал разрешения срабатывания для синхронных устройств
<i>sclr</i>	Синхронный сброс
<i>dout(17:0)</i>	Выходной сигнал (18-разрядные отсчеты)
<i>rfd</i>	Сигнал о готовности принять новый отсчет входного сигнала
<i>rdy</i>	Сигнал о готовности отсчета выходного сигнала

Заключение. В статье рассмотрены инструменты пакета *MATLAB*, которые позволяют автоматизировать расчет и анализ КИХ-фильтров, работающих в формате с фиксированной запятой. Показано, что анализ эффектов конечной разрядности можно провести с максимальной детализацией, учитывая влияние квантования коэффициентов и отсчетов входного сигнала, а также округления выходного сигнала фильтра. Результатом работы в *MATLAB* может быть файл с коэффициентами фильтра, который импортируется средой *ISE WebPACK*. На основе этого файла проектирование фильтра может быть выполнено в автоматизированном режиме.

Список литературы

1. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. *Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание.: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 992с.*
2. Сальников И.И. *Структура иерархической системы поддержки принятия решения по объективному выбору средства реализации проектируемой системы цифровой обработки информации // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2012. – №5 – с.69-73.*
3. Ушенина И.В. *Реализация алгоритмов цифровой адаптивной фильтрации на ПЛИС // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2012. – №5 – с.134-138.*
4. Ушенина И.В. *Способы реализации на ПЛИС многоканальных адаптивных КИХ-фильтров для систем активного подавления акустического шума // Цифровая обработка сигналов. – 2015. – № 4. – с.49-54.*
5. Мартышкин А.И. *Разработка аппаратного буферного устройства памяти многопроцессорной системы // Фундаментальные исследования. – 2015. - №12. – с.485-489*
6. Schilling R.J., Harris S.L. *Fundamentals of Digital Signal Processing Using MATLAB®. – 2010.*
7. *7 series DSP48E1 Slice User Guide, https://www.xilinx.com/support/documentation/user_guides/ug479_7Series_DSP48E1.pdf (25.11.2016)*
8. *Filter specification object, <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/fdesign.html?searchHighlight=fdesign%20filter%20object> (25.11.2016)*
9. Hawkes, G.C. *DSP: Designing for Optimal Results. High-Performance DSP Using Virtex-4 FPGAs. – 2005.*
10. *IP LogiCORE FIR Compiler v5.0, https://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/fir_compiler_ds534.pdf (25.11.2016)*

АЛГОТИРМЫ, УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

УДК 519.872.2, 519.872.5
ББК 22.171

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРОВ ЗАДАЧ СО СТРАТЕГИЕЙ РАЗДЕЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ С ОДНОРОДНЫМ И НЕОДНОРОДНЫМ ВХОДЯЩИМ ПОТОКОМ И ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНОЙ ОЧЕРЕДИ

© *А. И. Мартышкин, Пензенский государственный технологический
университет (Пенза, Россия)*

MATHEMATICAL MODELING OF TASK MANAGERS WITH THE STRATEGY OF SEPARATION IN SPACE WITH HOMOGENEOUS AND HETEROGENEOUS INPUT FLOW AND LIMITED QUEUE LENGTH

© *A. I. Martyshkin, Penza State Technological University (Penza Russia)*

Статья посвящена проведению математического моделирования и исследования для анализа характеристик многопроцессорной системы, включающей диспетчера задач с пространственным разделением с однородным и неоднородным входящим потоком заявок и ограниченной длиной очереди. Методы исследования основаны на использовании положений теории аналитического моделирования, теории систем и сетей массового обслуживания, теории вероятностей и теории случайных процессов. В статье приводятся аналитические выражения для исследования характеристик указанных диспетчеров задач. Адекватность аналитических расчетов проверена имитационным моделированием. На графиках показаны исследуемые зависимости. В заключении представлены выводы.

Ключевые слова: вероятностно-временные характеристики, диспетчер задач, модель, планировщик, приоритет, пространственное разделение, случайное распределение, стохастический процесс

The article is devoted to mathematical modelling and research to analyze the characteristics of a multiprocessor system including space division task managers with uniform and non-uniform incoming flow of requests and reduced queue length. Research methods based on the use of theory, analytical modelling, systems theory and queuing networks, probability theory and stochastic processes. The article provides analytical expressions to study the characteristics of these task managers. The adequacy of the analytical calculations are verified by simulation modeling. The graphs are shown the investigated addiction. Finally, the conclusions are presented.

Key words: probability-time characteristics, task manager, model, scheduling, priority, spatial separation, random distribution, a stochastic process

E-mail: Alexey314@yandex.ru

Рассматривая современные вычислительные системы (ВС), а именно системы реального времени (СРВ), отметим, что задачи, входящие на обслуживание, фактически представляют собой неоднородный поток, заявок разного приоритета (разной степени значимости). Высокоприоритетные заявки обслуживаются быстрее, т. к. необходима быстрая реакция на них и выдача результата. Задачи с более низким приоритетом ведут себя по-другому. Прерванная задача переводится в «спящий» режим и ожидает обработки. В случае, когда поступившая задача имеет относительный приоритет по сравнению с выполняемой, она дожидается окончания текущей работы. Принимая во внимание

$$\alpha_i = \left(\lambda_i + \sum_{\forall n(n \neq i)} p_{ij} \cdot \lambda_i \right) / \lambda_0, \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

В [6, 7] были определены средние времена ожидания задачи в очередях и время ответа системы.

Для вычислительного эксперимента возьмем МПС с 4-мя ЦП и, соответственно, с 4-мя ДЗ. Опытным путем получено, что вероятность того, что задача будет перераспределена по другим очередям после диспетчирования составляет при длинных задачах – 0,05. Вероятность выдачи результата обслуженной задачи пользователю при длинных задачах также составляет 0,05; при средних – 0,3; при коротких – 0,7. Вероятность дообслуживания длинной задачи составляет 0,9; средней – 0,65; короткой – 0,25.

В программном комплексе [9], в соответствии с типом решаемой системой задачи, вносим необходимые данные, чтобы он смог вычислить значения интенсивностей переходов потоков задач между СМО сети. Также вычисляются значения коэффициентов передач между устройствами. Из [10] определено выражение для нахождения времени ответа такой системы

$$U = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_0^{-1} \cdot \lambda_i + \sum_{\forall n(n \neq i)} p_{ji} \cdot \lambda_i \right) \cdot (w_i + k \cdot (t_k + \delta + \tau + \zeta)). \quad (3)$$

Время обработки каждой задачи выбирается при генерировании экспоненциально по значению интенсивности входного потока. Среднее время обработки задачи выбирается экспоненциально по произведению времени одного кванта на количество квантов, необходимых для полного выполнения задачи. В модели учитывается явление перезагрузки кэш-памяти в ЦП при поступлении в него новой задачи. Перезагрузка кэш-памяти выбирается статической величиной и происходит с заданной вероятностью. При переполнении очереди перед «ДЗ–ЦП», задача перераспределяется в другие очереди с вероятностью $p_{перераспр}$. Задача обрабатывается в ЦП целый квант. По окончании обработки в ЦП из внутренней переменной задачи вычитается время обработки – время одного кванта. Затем происходит проверка на завершенность путем сравнения внутренней переменной задачи, отвечающей за остаток времени, необходимого для завершения обработки, с нулем. Если задача обработана полностью, то она покидает систему.

В ходе проведенного вычислительного эксперимента изменялась трудоемкость задач (низкая для задач, требующих высокой реактивности, средняя и высокая – задач, требующих низкой реактивности). Загрузка ЦП находилась на уровне 65%, что соответствует средней загрузке системы. Число ЦП варьировалось от 2 до 20. Трудоемкость задач принята следующей: для высоко реактивных задач – 0,1 мс, для задач со средней трудоемкостью – 0,5 мс, наконец, для самых трудоемких задач – 1,0 мс. Время кванта для проведенных опытов принято постоянным и равным 0,1 мс. Время работы ДЗ при переключении контекста задач составляет 5 мкс (получено измерением на системе-прототипе с помощью программы [11]); время перезагрузки кэш-памяти принято равным 5 мкс (оценка получена в программе *RightMark Memory Analyzer*).

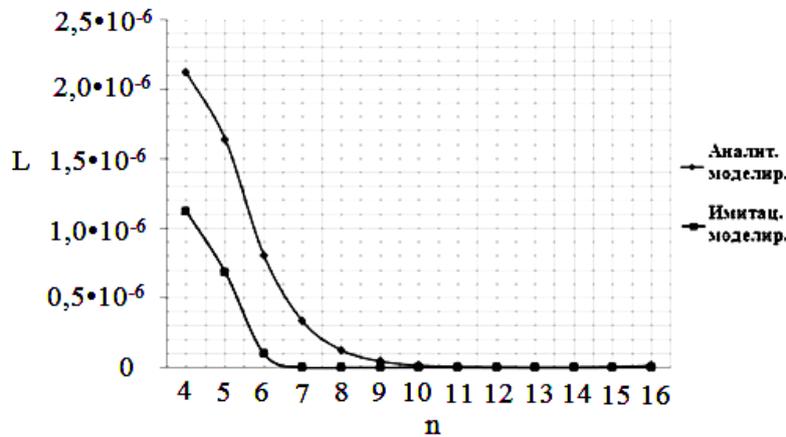


Рисунок 2 – Зависимость средней длины очереди перед подсистемой «ДЗ-ЦП» от количества ЦП в системе

На рисунке 2 представлена зависимость средней длины очереди перед подсистемой «ДЗ-ЦП» (L) от количества ЦП (n). Расчеты проводились в программе [9]. График показывает, как при увеличении числа ЦП очередь стремится к нулю. Отсюда следует вывод, что при решении задач с высокой трудоемкостью, что соответствует низкой реактивности системы и режиму жесткого реального времени, оно минимально для любого числа ЦП и уменьшается с ростом их трудоемкости.

Предположим, что рассматриваемая система не является экспоненциальной, тогда она может быть представлена как СМО $M/G/1$, тогда будут получены характеристики системы, приближенные к реально возможным. В работе рассмотрена система с n ЦП с неоднородным потоком задач, поступающих на i -ю СМО, и относительными приоритетами выбора задач из очереди [6 – 8]. Согласно [12], можно заменить систему типа $M/G/1$ с конечной очередью на аналогичную систему с неограниченной очередью. СеМО, состоящую из СМО с неограниченными очередями задач, проще проанализировать и определить основные характеристики, чем состоящую из СМО с ограничением длины очереди, в том случае, когда очередь содержит большое число мест (не менее 16 для задач СРВ) в таком случае погрешность вычислений составит менее 2,5% [12], что вполне приемлемо. В работе [10] было рассчитано среднее время ожидания всех приоритетных задач во всех очередях рассматриваемой системы, а также время ответа системы с ДЗ со стратегией разделения в пространстве при неоднородном входящем потоке задач с относительными и абсолютными приоритетами.

Рассмотрим методику оценки пропускной способности МПС на примере двухпоточной обработки, причем один поток имеет высший приоритет над другим потоком. Расчеты характеристик для подобных МПС проведены в [2]. Вначале оценим погрешность вычислений, полученных численным методом. На рисунке 3 приведены графики, отображающие зависимость вероятности приостановки в обслуживании ($P_{\text{приост}}$) от величины приведенной плотности потоков задач (ρ), поступающих в ЦП и рассчитываемых по выражению [6] для различного числа ЦП в системе. Согласно сделанного в [6] допущения, приведенные плотности первого и второго приоритетных потоков задач равны между собой. Все расчеты проводились в программе [9].

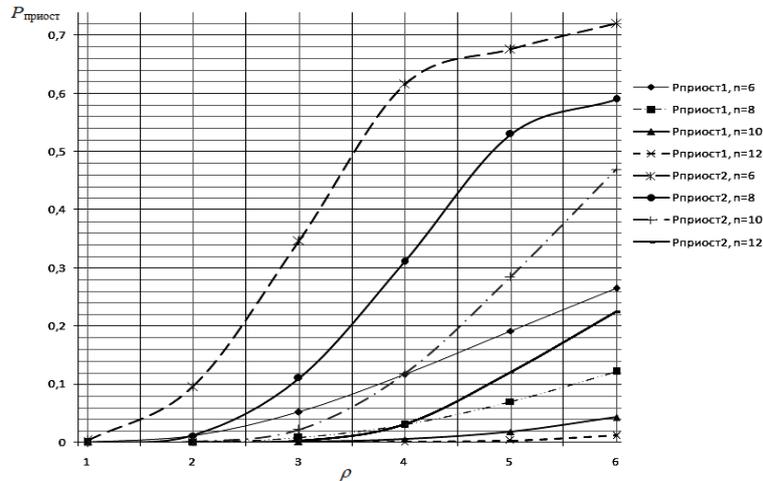


Рисунок 3 – Зависимости вероятностей $P_{приост1}$ и $P_{приост2}$ от плотности потоков задач, рассчитанных для различного числа ЦП

Согласно принятому допущению о том, что задачи первого приоритета имеют абсолютный приоритет по отношению к задачам второго приоритета, можно определить пропускную способность по каждому типу приоритета. Абсолютная пропускная способность системы с задачами двух приоритетных потоков будет определяться согласно выражениям:

$$\begin{aligned} A_1 &= \lambda_1 \cdot (1 - P_{приост1}) \\ A_2 &= \lambda_2 \cdot (1 - P_{приост2}) \end{aligned} \quad (4)$$

где λ_1 – интенсивность потока задач первого приоритета, λ_2 – интенсивность потока задач второго приоритета, $P_{приост2}$ – вероятность приостановки обслуживания задач второго приоритета по причине занятости ЦП обслуживанием задач первого приоритета, $P_{приост1}$ – вероятность приостановки обслуживания задач первого приоритета по причине занятости ЦП обслуживанием задач этого же приоритета.

Например, пусть интенсивность входного потока задач наиболее приоритетного потока равна $\lambda_1 = 10$ задач/мс, интенсивность второго потока, соответственно, $\lambda_2 = 12$ задач/мс. Рассчитаем пропускную способность при числе ЦП равном 6, 8, 10, 12. Приведенная плотность первого и второго потоков равна между собой. Вероятность приостановки обслуживания задач первого приоритета составляет для указанного числа ЦП, соответственно 0,1172, 0,03, 0,005, 0,0006. Вероятность приостановки обслуживания задач второго приоритета для аналогичных характеристик составляет соответственно 0,6154, 0,31, 0,117 и 0,03. Отсюда найдем абсолютную пропускную способность при числе ЦП, равном 6:

$$A_1 = 10 \cdot (1 - 0,1172) = 8,828 \text{ задач/мс}; \quad A_2 = 12 \cdot (1 - 0,6154) = 4,6152 \text{ задач/мс}.$$

При числе ЦП, равном 8:

$$A_1 = 10 \cdot (1 - 0,03) = 9,7 \text{ задач/мс}; \quad A_2 = 12 \cdot (1 - 0,31) = 8,28 \text{ задач/мс}$$

При числе ЦП, равном 10:

$$A_1 = 10 \cdot (1 - 0,005) = 9,95 \text{ задач/мс}; A_2 = 12 \cdot (1 - 0,117) = 10,596 \text{ задач/мс}$$

При числе ЦП, равном 12:

$$A_1 = 10 \cdot (1 - 0,0006) = 9,994 \text{ задач/мс}; A_2 = 12 \cdot (1 - 0,03) = 11,64 \text{ задач/мс}$$

Таким образом, на основании описанного выше отметим, что для МПС жесткого реального времени с большим числом ЦП целесообразно использовать ДЗ с разделением в пространстве, при малом, соответственно, – ДЗ с разделением во времени.

Результаты моделирования подтверждают тот факт, что разработанная модель ДЗ с пространственным разделением задач показывает лучшие характеристики, приближенные к реальным системам, чем классические экспоненциальные модели, основанные на СМО М/М/1.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 16-07-00012 А).

Список литературы

1. Таненбаум Э., Бос Х. *Современные операционные системы*. СПб.: Питер, – 2015. – 1120 с.
2. Martyshkin A.I., Yasarevskaya O.N. *Mathematical modeling of Task Managers for Multiprocessor systems on the basis of open-loop queuing networks // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2015. – V. 10. – N. 16. – P. 6744-6749.
3. Литвинская О.С., Сальников И.И. *Основы теории выбора средств реализации проектируемой информационно-технической системы*, Пенза, 2011.
4. Сальников И.И. *Структура принятия решения по выбору цифрового средства реализации алгоритма в информационно-технической системе / О.С. Литвинская, И.И. Сальников // Фундаментальные исследования*. – 2010. – №12. – С. 111-118.
5. Сальников И.И. *Структура иерархической системы поддержки принятия решения по объективному выбору средства реализации проектируемой системы цифровой обработки информации // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2012. – № 5 (09). – С. 69-73.
6. Мартышкин А.И., Воронцов А.А., Валова О.О. *Математическое моделирование диспетчеров задач с пространственным разделением с неоднородным потоком задач на обслуживание и ограниченной длиной очереди // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2015. – № 3 (25). – С. 142-149.
7. Martyshkin A.I. *Mathematical modeling of Task Managers with the strategy of separation in space with a homogeneous and heterogeneous input flow and finite queue // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2016. – V. 11. – N. 19. – P. 11325-11332.
8. Мартышкин А.И. *Исследование распределенных диспетчеров задач многопроцессорных систем на основе сетей массового обслуживания // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2016. – № 3 (31). – С. 190-194.
9. *Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013611117*.
10. Алиев Т.И. *Основы моделирования дискретных систем*. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
11. *Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013611118*.
12. Захарикова, Е. Б. *Моделирование динамики систем и сетей массового обслуживания / Е. Б. Захарикова, П. П. Макарычев // В мире научных открытий*. – Красноярск: Изд-во «Научно-инновационный центр». – 2012. – №8(32) (Математика, Механика, Информатика). – С. 222-235.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 004.771
ББК 30

ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА НА ПРИМЕРЕ ЧАСТНОГО ОБЛАКА КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ ПЕНЗГТУ

© *А.А. Воронцов, Пензенский государственный технологический университет
(Пенза, Россия)*

© *О.С. Жарова, Пензенский государственный технологический университет
(Пенза, Россия)*

THE PROSPECTS OF USE OF THE CLOUD COMPUTING IN EDUCATIONAL PROCESS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTION ON THE EXAMPLE OF THE PRIVATE CLOUD OF THE PSTU COMPUTER NETWORK

© *A.A. Vorontsov, Penza State Technological University (Penza Russia)*

© *O.S. Zharova, Penza State Technological University (Penza Russia)*

Целью работы является анализ возможных перспектив использования облачных технологий в образовательной среде на примере частного облака ПензГТУ. Рассматриваются вопросы, связанные с эффективностью применения услуг, предоставляемых ПензГТУ преподавателям и студентам при проведении занятий (платформа и программное обеспечение, то есть PAAS и SAAS).

Ключевые слова: облачные технологии, ПензГТУ, частное облако, перспективы использования, образовательная среда, локальные сети, глобальные сети, философия.

The purpose of work is the analysis of possible prospects of use of a cloud computing in the educational environment on the example of a private cloud of PENZGTU. The questions connected with efficiency of application of the services provided to PENZGTU to teachers and students when training (a platform and the software, that is PAAS and SAAS) are considered.

Key words: cloud computing, PSTU, private cloud, prospects of use, educational environment, local networks, global networks, philosophy.

E-mail: Aleksander.Vorontsov@gmail.com

Постоянная модернизация образования требует постоянного совершенствования процесса обучения. В частности, для этих целей создаются информационные ресурсы, позволяющие студентам визуально воспринимать информацию с помощью аудио, видео, текстовых файлов и изображений. Одним из перспективных направлений в последние годы стало использование в образовании облачных технологий.

Под облачными технологиями подразумеваются различные аппаратные и программные средства, которые предоставляются пользователю для реализации своих целей, задач и проектов. В зависимости от предоставляемых услуг, облачные технологии подразделяются на три основных вида: инфраструктура как услуга (IAAS), платформа как услуга (PAAS) и программное обеспечение как услуга (SAAS). Во всех трех видах услуг пользователям предоставляется доступ к виртуальным машинам, то есть компьютерам и оборудованию провайдера (поставщика услуг). В первом случае (IAAS)

пользователь услуги может запускать и развертывать произвольное программное обеспечение, в том числе и операционные системы, во втором – развертывать программное обеспечение, поддерживаемого облачным провайдером, в третьем – пользователю предоставляется доступ к программному обеспечению, развернутому на виртуальных машинах провайдера.

В Пензенском государственном технологическом университете (ПензГТУ) студентам и преподавателям предоставляется возможность работы с частным облаком по всем трем видам услуг. Анализ возможностей при работе с частным облаком ПензГТУ, а также перспективам развития облачных технологий при изучении дисциплин ВУЗов посвящена данная статья.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. Облачные технологии стремительно развиваются. Так, по прогнозам аналитической компании *IDC*, в 2015 году объем рынка облачных услуг в мире вырос более чем в три раза по сравнению с 2010 годом — с 21,5 миллиарда до 72,9 миллиардов долларов, как это представлено на рисунке 1. К 2020 году этот показатель может достигнуть 240 миллиардов.

Россия по внедрению облачных технологий по состоянию на 2011 год занимала 34-е место с показателем 250 миллионов долларов, на сегодняшний день объем рынка облачных вычислений в России приблизительно составляет 5 миллиардов долларов.

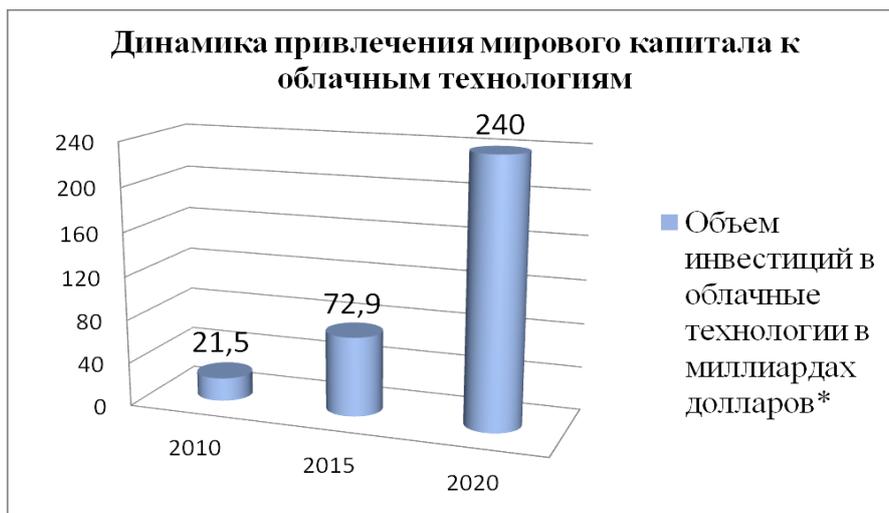


Рисунок 1 – Динамика привлечения капиталов к облачным технологиям согласно данным и прогнозам *IDC* (*International Data Corporation*)

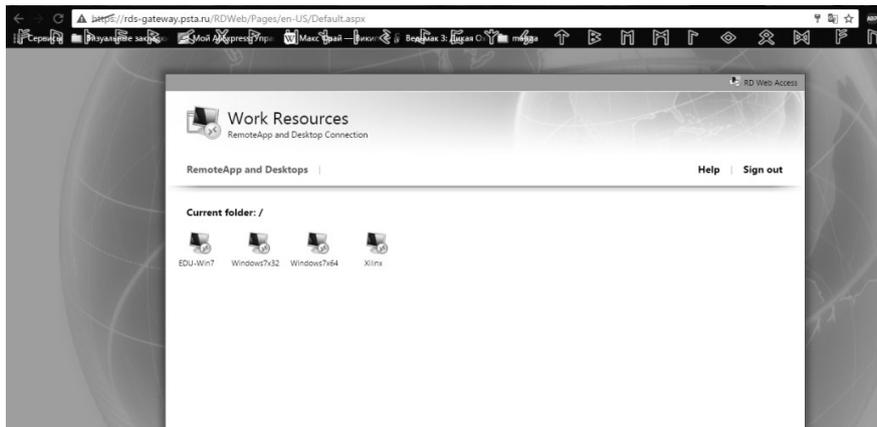


Рисунок 2 – Подключение к виртуальным машинам с ОС Windows 7 и с различными наборами установленного ПО

На сегодняшний день практически каждый уже работает с облачными технологиями, возможно не задумываясь об этом. С ними мы сталкиваемся при работе с электронной почте, при разговоре по телефону, а также при работе в локальных сетях и сети интернет.

Для работы в уже созданном частном облаке ПензГТУ необходим ноутбук, планшет, компьютер или телефон с выходом в интернет и браузер. Если студент планирует выйти в интернет в любой точке планеты, где конечно есть интернет, то ему еще необходимо установить сертификат, чтобы сервер понимал, что пользователь, который к нему обратился – это студент или преподаватель и ему можно работать на виртуальной машине в частном облаке ВУЗа. К основным видам сервисов, предоставляемых обучающимся и преподавателям ПензГТУ, можно отнести возможность работы с различными версиями операционных систем Linux и Windows (рисунок 2), как с 32 (x32), так и с 64-разрядными (x64), например с Windows 7 x64 (рисунок 3).

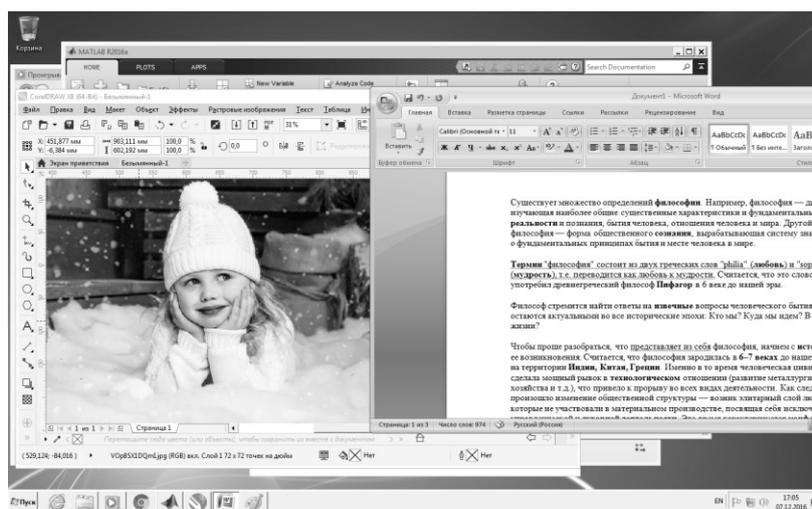


Рисунок 3 – Подключение к удаленному рабочему столу виртуальной машины с ОС Windows 7

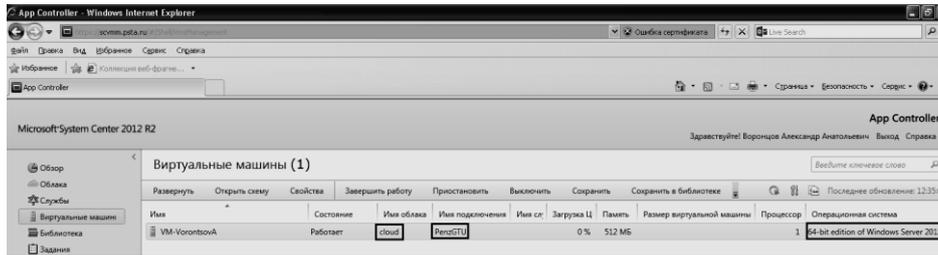
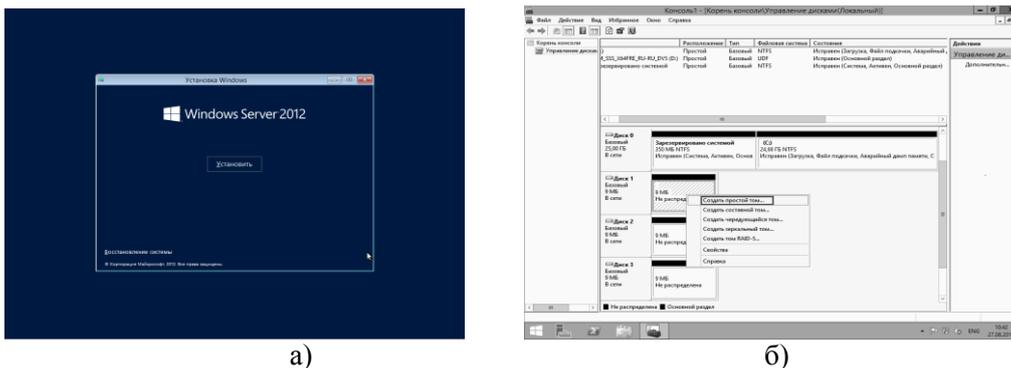


Рисунок 4 – Подключение к виртуальной машине частного облака ПензГТУ для последующего развертывания ОС Windows Server 2012

Также студенты и преподаватели ПензГТУ имеют возможность на лабораторных и практических занятиях развертывать операционные системы, в том числе и серверные (рисунок 4) и настраивать их компоненты (рисунок 5).

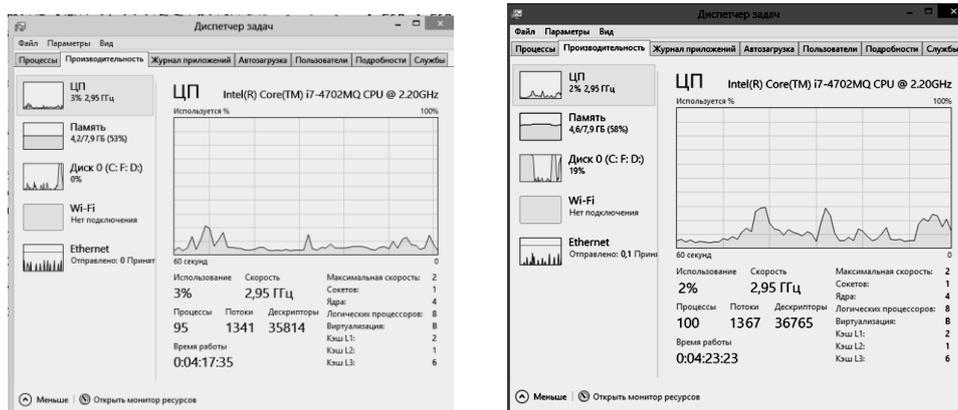
В [3] упоминается, что при работе с виртуальными машинами частного облака все вычислительные операции осуществляются на сервере, а по сети Internet передаются лишь результаты вычислений, что приводит к различной загрузке процессора и оперативной памяти даже при работе с одним и тем же программным продуктом локально и по сети.



а)

б)

Рисунок 5 – Развертывание на виртуальной машине частного облака ПензГТУ ОС Windows Server 2012, а) установка и б) настройка компонентов операционной системы



а)

б)

Рисунок 6 – Исследование изменения загрузки процессора и оперативной памяти при одновременном запуске программ MathLab R2016a, CorelDraw X8, Windows Media, Compas 3D v16 а) на локальном компьютере и б) на виртуальной машине частного облака ПензГТУ

Так, одновременный запуск программ MathLab R2016a, CorelDraw X8, Windows Media, Compas 3D v16 на одном из компьютеров локально и при подключении к удаленному рабочему столу (УРС) виртуальной машины (ВМ) Windows 7 x64 (рисунок 6) способствовал изменению загрузки процессора на 1% (с 3% до 2%) и оперативной памяти на 5% (с 53% до 58%). Подключение к УРС ВМ на другом по производительности компьютере дал бы совершенно другие результаты, так как необходимо учитывать производительность устройства, с помощью которого осуществляется подключение, в частности емкость оперативной памяти, частоту процессора и количество ядер, емкость жесткого диска, скорость Интернет соединения и т.д.. Для исследования изменения загрузки процессора и оперативной памяти в процессе подключения к УРС ВМ частного облака ПензГТУ, проведем вычислительные эксперименты.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ. Для исследований изменения загрузки процессора и оперативной памяти будем использовать следующие условия.

1. Скорость Интернет-соединения является достаточной для передачи данных (в вычислительных экспериментах она составляла более 1Мбит/сек).

2. Емкость свободного пространства на жестком диске и оперативной памяти давала возможность комфортно работать в процессе работы с частным облаком ПензГТУ.

3. Подключение осуществляется к удаленным рабочим столам (УРС) виртуальных машин (ВМ) с установленной на них 64 разрядной операционной системой (ОС) Windows 7 (Windows 7 x64) и из-под управления ОС Windows 7 x64.

4. Вычислительные эксперименты до подключения на устройстве пользователя и в процессе подключения на виртуальной машине осуществляются при параллельном запуске программ Windows Media, Microsoft Office Word 2007, Matlab R2016a и 64-битной версии программы Corel Draw X8 (рисунок 3).

Результаты исследований для устройств, содержащих с количеством ядер ЦП=2, приведенных в таблице 1, можно привести к графикам зависимостей загруженности процессора и оперативной памяти от емкостей оперативной памяти и частоты работы ядер процессора, приведенных на рисунках 7 и 8 соответственно.

Таблица 1 – Характеристики и загрузка устройств, используемых для подключения к рабочим столам виртуальных машин с ОС Windows 7 x64

№ устройства	Количество ядер ЦП	частота работы каждого ядра ЦП, ГГц	Емкость оперативной памяти, Гб	Загрузка ЦП до подключения, %	Загрузка ОП до подключения, %	Загрузка ЦП после подключения, %	Загрузка ОП после подключения, %
1.	1	2,8	0,5	100	137*	37	182*
2.	2	2,0	1	41	50	11	80
3.	2	2,2	2	38	44	10	65
4.	2	2,4	3	34	38	9	61
5.	2	2,6	4	31	36	8	55
6.	2	2,8	6	28	32	7	47
7.	2	3,0	8	25	27	6	41
8.	4	2,2	8	3	53	2	58
9.	4	4,2	8	2	16	2	21

* - с использованием файлов подкачки

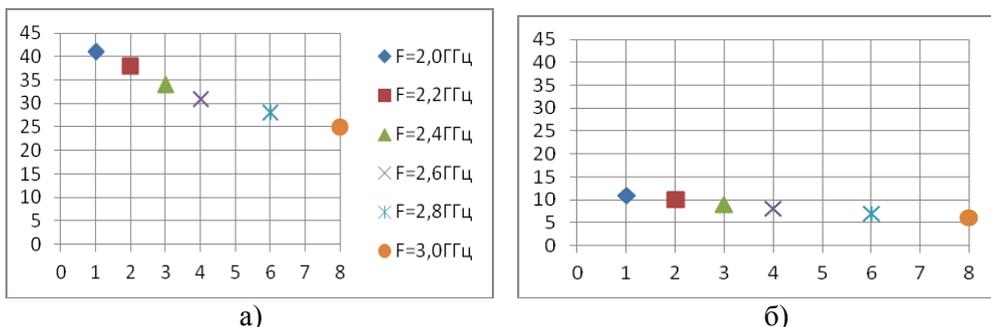


Рисунок 7 – Зависимость процента загрузки процессора от емкости оперативной памяти для различных частот F работы ядер процессора до (а) и после (б) подключения к УРС ВМ частного облака ПензГТУ

Анализ рисунков 7 и 8 позволяет сделать вывод, что изменение емкости оперативной памяти и частоты работы процессора позволяют более эффективно работать с УРС ВМ частного облака ПензГТУ. И пусть увеличение как емкости оперативной памяти, так и частоты работы каждого ядра процессора могут способствовать к изменениям их загрузки не более, чем на 1%, особенно при использовании 4-х и более ядерных процессоров, тем не менее, работа с частными облаками позволяет комфортно работать как с лицензионным ПО, отсутствующим на устройстве пользователя, но имеющимся на виртуальных машинах, так и проводить исследования и изучения различных операционных систем частных облаков. Работа с виртуальными машинами возможна и на “слабых” компьютерах, что позволяет реже обновлять парк компьютеров и ноутбуков как студентов и преподавателей, так и в учебных учреждениях в целом.

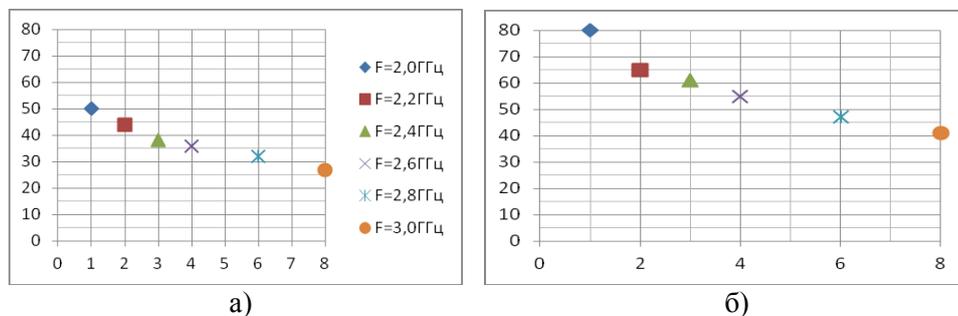


Рисунок 8 – Зависимость процента загрузки оперативной памяти от емкости оперативной памяти для различных частот F работы ядер процессора до (а) и после (б) подключения к УРС ВМ частного облака ПензГТУ

В заключении необходимо отметить, что изменение загрузки процессора и оперативной памяти, происходящее в результате удаленного подключения также зависит от используемого видеоадаптера, коэффициента передачи данных, частоты работы шин данных, входящей и исходящей скорости Интернет-соединения и быстродействия устройств частного облака ПензГТУ. Проработка этих вопросов, а также оценка степени значимости каждого из этих факторов требует дополнительных исследований.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания высшим учебным заведениям (проект № 3036).

Список литературы

1. Слесарев Ю.Н., Воронцов А.А., Родионов С.В. Повышение эффективности расчета параметров акустических трактов магнитострикционных преобразователей перемещения. Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. Рязань: РГРТУ, 2016. № 56. С. 169-176.
2. Воронцов А.А., Будников Е.А. Исследование математических моделей двухкоординатных магнитострикционных наклономеров, содержащих сплошные постоянные магниты. XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ, 2016. № 3 (31). С. 129-134.
3. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ, 2016. № 3 (31). С. 173-178.
4. Воронцов А.А., Мартенс-Атюшев Д.С. Разработка и исследование реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала. Инновации в науке. 2016. № 54. С. 174-179.
5. Воронцов А.А. Частное облако ПензГТУ как средство повышения быстродействия компьютеров в сетях. Научно-исследовательские публикации. 2016. № 2 (34). С. 6-17.
6. Жарова О.С. Интернет-фольклор как воплощение тенденций современного общества. XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. Т. 2. № 6 (28). С. 50-53.
7. Мартышкин А.И. Математическое моделирование распределенных диспетчеров задач многопроцессорных систем на основе открытых сетей массового обслуживания. Сборник статей XIV Всероссийской научно-технической конференции "Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов". Под редакцией И.И. Сальникова. Пенза: ПензГТУ, 2016. С. 105-110.
8. Курносое В.Е., Андреева Т.В. Учебно-научный программный комплекс решения задач анализа и синтеза конструкций. [Текст] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ, 2015. № 3 (25). С. 202-209.

УДК 517
ББК 24

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ
УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ КАФЕДРЫ**

- © *А.Ф. Зубков, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*
© *И.В. Есаулова, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*
© *Э.А. Хорошева, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*

**MATHEMATICAL MODEL OF EFFICIENCY
DEPARTMENT WORK MANAGEMENT**

- © *A.F. Zubkov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*
© *I.V. Esaulova, Penza State Technological University (Penza, Russia)*
© *E.A. Khorosheva, Penza State University (Penza, Russia)*

Рассмотрена проблема управления работой кафедры университета, построена математическая модель оценки основных видов деятельности преподавателя, получены количественные результаты, представлены численные расчеты. Сделаны выводы об эффективности управления работой кафедры, даны предложения по ее оптимизации.

Ключевые слова: математическая модель, производственная матрица, коэффициент эффективности.

The problem is considered of the University Department performance management. A mathematical model is constructed for evaluating the main types of activity of the teacher. Quantitative results are obtained, numerical calculations are presented. There are conclusions about the Management effectiveness of the Department work, proposals are given to its optimization.

Key words: mathematical model, matrix production, efficiency coefficient.
E-mail: zubkov@pgta.ru; proxorovairina@inbox.ru; elya_khorosheva@mail.ru

Кафедра – основное подразделение ВУЗа, от того, насколько эффективно выполняет свои функции кафедра в области образования, научного исследования, воспитания студентов зависит успешность его деятельности. Важнейшим фактором, влияющим на успешность деятельности кафедры, является эффективное управление сотрудниками кафедры. Необходимо, чтобы каждый сотрудник вносил вклад в работу кафедры и чувствовал ответственность за результат. Методы управления и мотивации сотрудников кафедры важно применять в комплексе – только всесторонний подход к организации работы с сотрудниками может дать значительный эффект и способствовать стабильному развитию и существованию кафедры [5, 6, 8].

Основными задачами кафедры, как подразделения ВУЗа являются: организация и проведение на высоком уровне учебной, методической, научной, воспитательной работы по учебным дисциплинам кафедры; организация и проведение научных исследований, повышение квалификации научно-педагогических кадров.

Профессорско-преподавательский состав, обладающий необходимым по занимаемым должностям уровнем квалификации, а также наличие оборудования и методик является важным, но не определяющим условием эффективной работы [7]. Деятельность кафедры необходимо организовать, обеспечив опти-

мальное функционирование в рамках сложной и динамичной системы [2]. Роль организатора деятельности отводится руководителю кафедры.

Основные функции руководителя кафедры заключаются: в планирование деятельности педагогических работников; в подведении итогов деятельности; в оценке эффективности деятельности сотрудников; в анализе ошибок управления. Планирование деятельности педагогического работника осуществляется на основе индивидуального плана его работы в соответствии с должностными обязанностями, плана работы кафедры, требований положений ВУЗа. Это обстоятельство приводит к наличию многообразных подходов к построению модели эффективности управления кафедрой [1,4]. Для оценки эффективности управления кафедрой предлагается использовать производственную матрицу [3].

В качестве примера математической модели эффективности управления кафедрой, рассмотрим кафедру М, состоящую из 6 человек. Руководитель кафедры определяет объем работ и время их выполнения, используя свой опыт и руководствуясь планом ВУЗа. План руководителя на календарный год для кафедры М представлен в табл. 1.

Таблица 1.

Штатные должности	Основные виды работ, количественные показатели					
	1*	2*	3*	4*	5*	6*
I	3	4	1	2	2	3
II	2	3	1	0,5	1	2
III	2	3	1	0,5	1	2
IV	2	3	1	0,5	1	2
V	1	2	1	0,5	1	1
VI	1	2	1	0	1	0

Условные обозначения:

1*. Публикация статьи в журнале, включенном в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ.

2*. Публикация статьи в журнале, индексируемом в БД РИНЦ.

3*. Разработка учебно-методического комплекса дисциплин.

4*. Разработка учебного пособия по дисциплинам, на основе рекомендаций учебно-методического совета факультета к печати и (или) для размещения в электронной библиотечной системе.

5*. Количество разработанных и прошедших экспертизу контрольно-оценочных материалов для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации студентов.

6*. Участие профессорско-преподавательского состава в использовании и развитии образовательного портала.

Должности профессорско-преподавательского состава кафедры I-профессор, II,III,IV-доцент, V-старший преподаватель, VI-ассистент.

Пусть $D = \|d_{ij}\|$ - производственная матрица, где i - преподаватель кафедры ($i = \overline{1,6}$), j - показатель деятельности кафедры ($j = \overline{1,6}$) [3].

По данным таблицы 1 составляем производственную матрицу плановых показателей D :

$$D = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 1 & 2 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 & 0,5 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0,5 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0,5 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 1 & 0,5 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 12 \\ 6 \\ 10 \\ 10 \\ 3 \\ 10 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Баллы для соответствующих видов деятельности определяются из мониторинга эффективности деятельности педагогических работников, представим их в матрице-столбце $B = \|b_{ij}\|$:

Матрица-столбец планируемого количества баллов для каждого преподавателя вычисляется по формуле: $E = \|e_{ij}\| = \|d_{ij}\| \times \|b_{ij}\|$, каждый элемент e_{ij} которой равен количеству плановых баллов на сотрудника кафедры, с учетом должности.

$$E = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 1 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 & 0,5 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0,5 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 & 0,5 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 1 & 0,5 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 12 \\ 6 \\ 10 \\ 10 \\ 3 \\ 10 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 116 \\ 80 \\ 80 \\ 80 \\ 52 \\ 37 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Суммируя все элементы матрицы столбца $E = \|e_{ij}\|$, получим плановый показатель в баллах для сотрудников кафедры М:

$$\mathcal{E}_{\text{пл}} = \sum_{i=1}^6 e_{ij} = 116 + 80 + 80 + 80 + 52 + 37 = 445. \quad (3)$$

В течение отчетного периода руководитель направляет действия сотрудников кафедры, обеспечивает взаимосвязь и взаимодействие в коллективе. Математическая модель решения задачи представлена алгоритмом на рисунке 1.

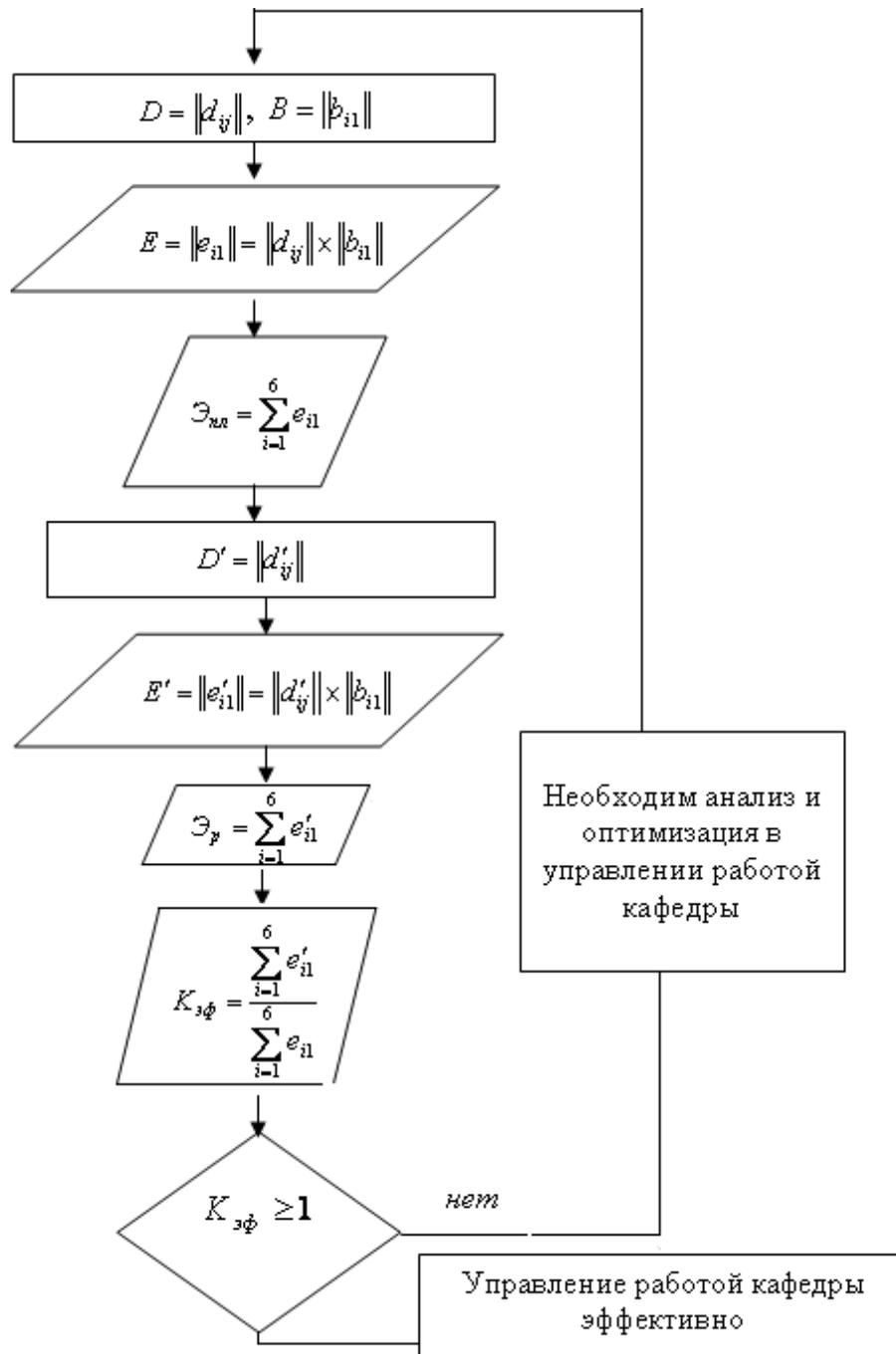


Рисунок 1 – Алгоритм математического моделирования эффективности управления работой кафедры

Полученные показатели сотрудников кафедры в конце календарного года для кафедры М представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Штатные должно- сти	Основные виды работ, количественные показатели					
	1*	2*	3*	4*	5*	6*
I	4	5	1	0,5	0	3
II	1	4	1	0,5	0	2
III	3	2	1	0,5	2	2
IV	1	3	0	0	1	1
V	0	3	0	0,5	0	1
VI	0	1	1	0	0	1

По данным табл. 2 составляем матрицу $D' = \|d'_{ij}\|$ реальных показателей и вычисляем матрицу-столбец $E' = \|e'_{i1}\| = \|d'_{ij}\| \times \|b_{i1}\|$ реального количества баллов для каждого преподавателя кафедры:

$$D' = \begin{pmatrix} 4 & 5 & 1 & 0,5 & 0 & 3 \\ 1 & 4 & 1 & 0,5 & 0 & 2 \\ 3 & 2 & 1 & 0,5 & 2 & 2 \\ 1 & 3 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 3 & 0 & 0,5 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot E' = \begin{pmatrix} 4 & 5 & 1 & 0,5 & 0 & 3 \\ 1 & 4 & 1 & 0,5 & 0 & 2 \\ 3 & 2 & 1 & 0,5 & 2 & 2 \\ 1 & 3 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 3 & 0 & 0,5 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 12 \\ 6 \\ 10 \\ 10 \\ 3 \\ 10 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 123 \\ 71 \\ 89 \\ 43 \\ 33 \\ 26 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Суммируя все элементы матрицы-столбца $E' = \|e'_{i1}\|$, получаем реальный показатель в баллах для сотрудников кафедры М:

$$\mathcal{E}_p = \sum_{i=1}^6 e'_{i1} = 123 + 71 + 89 + 43 + 33 + 26 = 385. \quad (5)$$

Руководитель сравнивает достигнутые реальные результаты с запланированными:

$$K_{эф} = \frac{\sum_{i=1}^6 e'_{i1}}{\sum_{i=1}^6 e_{i1}} = \frac{\mathcal{E}_p}{\mathcal{E}_{пл}} \quad (6)$$

Возможны следующие оценки эффективности управления работы кафедры:

$$K_{эф} = \begin{cases} \geq 1, \text{ кафедра выполнила план, управление эффективно} \\ < 1, \text{ кафедра не выполнила план, необходим анализ и оптимизация} \\ \text{в управлении работой кафедры} \end{cases} \quad (7)$$

Для кафедры математики

$$K_{эф} = \frac{\mathcal{E}_p}{\mathcal{E}_{пл}} = \frac{385}{445} \approx 0,865. \quad (9)$$

Коэффициент эффективности $K_{эф} \approx 0,865$ показывает:

1) кафедра не выполнила план;

2) необходимо рассмотрение руководителем кафедры количественной модели оптимизации по распределению видов работ между сотрудниками кафедры для повышения эффективности работы кафедры;

3) повышение мотивации отдельных сотрудников кафедры.

Предложенная математическая модель является работоспособной, позволяет проводить оценку эффективности управления работой кафедры, качественно планировать ее работу.

Список литературы

1. *Алехина М.А. О вероятностях ошибок в одной модели вычислений // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2015. № 4 (36). С. 12-19.*
2. *Гусынина Ю.С. Моделирование управления производственными системами с учетом случайности состояния формирующих параметров // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пензенский государственный университет. Пенза, 2010.*
3. *Зубков А.Ф., Есаулова И.В., Хорошева Э.А. Математическая модель оценки эффективности работы производственной системы – кафедры университета // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. Т. 2. № 2 (18). С. 162-167.*
4. *Зубков А.Ф., Шорникова Т.А., Гусынина Ю.С., Наумов Р.В. Моделирование социальных и технических систем с учетом случайности поведения формирующих их величин // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2008. Т. 15. № 3. С. 476-477.*
5. *Логвина О.А., Алехина М.А. Оценка значимости воздействия в математическом моделировании экологического состояния объекта // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 2 (30). С. 217-221.*
6. *Нижнева Н.Н., Ксенофонтов В.А., Нижнева-Ксенофонтова Н.Л. Основные аспекты управления кафедрой // Идеи. Поиски. Решения: сборник статей и тезисов IX Междунар. науч. практ. конф., Минск, 25 ноября 2015 г. - В 6 частях. – Часть 6.– Мн.: БГУ, 2015. С.4-17.*
7. *Резник, С. Д. Управление кафедрой: учеб. / С. Д. Резник. – М.: ИНФРА, 2009. – 607 с.*
8. *Ягова Е.Ю., Зубков А.Ф. Заданный подход к формированию математических компетенций студентов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013. № 7 (11). С. 175-181.*

УДК 631.331.5
ББК 30

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ВЫСЕВАЮЩИХ
АГРЕГАТОВ С РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНО-ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ
СИСТЕМОЙ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

© *Д.В. Синёнков, Пензенский государственный технологический университет,
(г. Пенза, Россия)*

© *С.Б. Дёмин, Пензенский государственный технологический университет,
(г. Пенза, Россия)*

**INVESTIGATION OF PNEUMATIC SOWING MACHINES WITH
DISTRIBUTION AND CONVEYING SYSTEM BY METHODS
OF MATHEMATICAL MODELING**

© *D.V. Sinenkov., Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *S.B. Demin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье представлены результаты исследования производительности пневматических высевающих агрегатов с распределительно-транспортирующей системой с использованием метода математического моделирования по его уточненным математическим моделям. Приведены расчетные схемы, позволяющие оценить влияния основных параметров среды на производительность высевающих агрегатов при заданном диапазоне нормы высева посевной культуры.

Ключевые слова: математическое моделирование, распределительно-транспортирующая система, высевающий агрегат, посевная культура.

Key words: mathematical modeling, distribution and conveying system, seeding machine, seeding culture

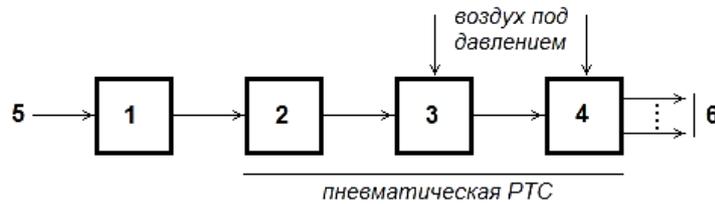
The article presents the results of the research performance of pneumatic sowing machines with distribution and transport system using the method of mathematical modeling for its refined mathematical models. The calculated scheme to assess the influence of the main parameters of the environment on the performance of the sowing units for a given range of a seeding rate of the seed culture.

E-mail: werth.81@mail.ru

Государственная программа развития сельского хозяйства в области растениеводства РФ на 2013-2020 гг. ориентирует производителей на создание новых и совершенствование известных технологий высева и обработки посевных культур и технических средств.

Одной из главных задач решения современных проблем сельского хозяйства страны является разработка, исследование и внедрение в производство ресурсосберегающих технологий, позволяющих получать стабильные урожаи при минимальных затратных средствах. Это требование напрямую касается разработки высевающих агрегатов [1,2].

При проектировании современных высевающих агрегатов большое внимание уделяется распределительно-транспортирующим системам (РТС), в том числе с воздушным транспортным потоком (пневматические РТС), от качества работы которых, зависят точность подачи посевных культур к сошникам и надежность работы высевающего агрегата в целом (рисунок 1). Работа по совершенствованию РТС высевающих агрегатов в нашей стране и за рубежом направлена на повышение эффективности в получении урожая высевающих культур, особенно в дотационных районах с низкой природной урожайностью [3].



1 - бункер (накопитель), 2 - шнековый питатель, 3 - смеситель, 4 - распределитель, 5 - посевная культура, 6 - семяпроводы

Рисунок 1 – Структура высевяющего агрегата с пневматической РТС

В настоящее время одним из эффективных способов исследования объекта (в данном случае – высевяющий агрегат) является метод математического моделирования, позволяющий, не прибегая к сложным и затратным физическим экспериментам, получить огромный объем данных об объекте. Проведем исследование производительности высевяющих агрегатов с пневматической РТС методом математического моделирования.

1. Моделирование бункера высевяющего агрегата. Производительность бункера высевяющего агрегата зависит от ряда факторов, а именно: соответствие геометрического объема бункера требуемой норме высева посевной культуры при требуемой производительности высевяющего агрегата; отсутствие зон торможений или «заторов» посевной культуры на наклонных стенках бункера; беспрепятственный выпуск посевной культуры через транспортные окна бункера и РТС высевяющего агрегата и др.

Кроме того, на производительность бункера высевяющего агрегата влияют геометрическая форма и размер посевной культуры, ее агрегатное состояние. В [4] отмечено, что высевяемые культуры, в целом, близки по форме к эллипсу, трапеции, тетраэдру или к многогранной фигуре правильной формы. Это дает возможность в процессе моделирования зерновой культуры рассматривать зерно в форме шара с диаметром d_0 .

Наиболее приемлемой формой бункера в нашем случае является конусно-цилиндрическая форма (рисунок 3), которая препятствует образованию «заторов» посевной культуры при движении высевяющего агрегата, обеспечивает требуемую его производительность и технологичность изготовления.

Предлагается следующая математическая модель бункера высевяющего агрегата для пневматической РТС [5] с заданным количеством n транспортных окон площадью $S_{то} = (a_2 - d_0)(b_2 - d_0)$ и объемом

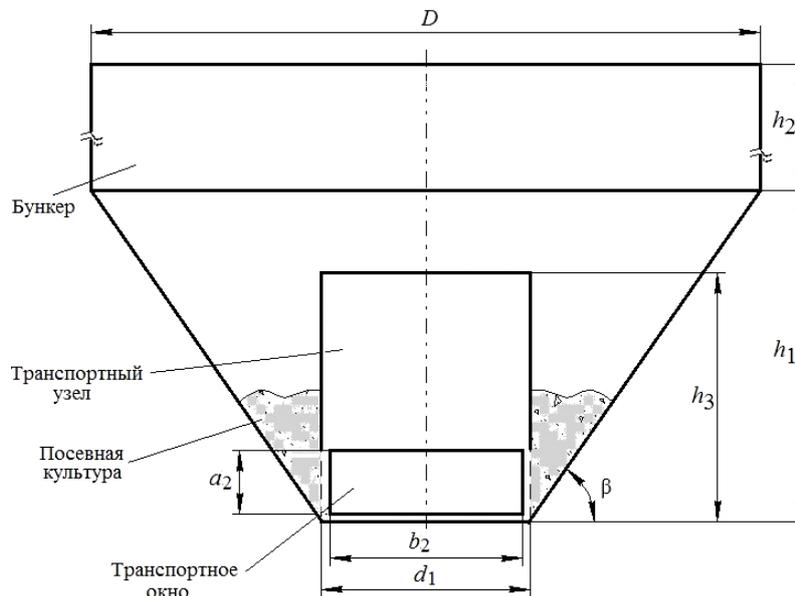
$$V_б = \frac{\pi P_{бд} \cdot K_1}{3\gamma_H t g^2(90^\circ - \psi)} + \frac{\pi D^2 P_B}{4\gamma_H}, \text{ будет описываться следующим}$$

выражением:

$$Q_B = k_o \lambda_1 \cdot \frac{h_1 K_1 + \frac{\pi D^2 h_2}{4} - V_{шп}}{n S_{то} \cdot \cos \beta t_1} n S_{то} \gamma_H k_4 - \Delta Q_B, \quad (1)$$

где $K_1 = [D^2 / 4 + (D / 2)(d_1 / 2) + d_1^2 / 4]$, $P_{\text{бд}} = \frac{h_1}{\pi} 3\gamma_H \cdot \text{tg}^2(90^\circ - \varphi)$ –

боковое давление движущейся массы посевной культуры, γ_H – насыпная плотность посевной культуры, φ – угол транспортирования посевной культуры в бункере, $P_V = h_2\gamma_H$ – вертикальное давление движущейся массы посевной культуры, k_o – нормирующий коэффициент, λ_1 – коэффициент истечения посевной культуры, $V_{\text{шп}} = \pi d_1^2 h_3$ – наружный объем транспортного узла, t_1 – время истечения посевной культуры из бункера, k_4 – коэффициент целостности семян посевной культуры при проходе через транспортные окна в единицу времени t , ΔQ_B – потери посевной культуры в бункере при высевании.



*Рисунок 2 – Расчетная схема бункера высевального агрегата:
 a_2, b_2 – высота и длина транспортных окон, d_1, h_3 – наружный диаметр и высота транспортного узла*

Результаты математического исследования модели (1) производительности конусно-цилиндрического бункера высевального агрегата (сеялки) по предложенной математической модели приведены на рисунках 3 и 4.

Диапазоны нормы высева высевального агрегата с пневматической РТС определялись из расчета 220-3168 кг/ч при производительности бункера 1,0-14,4 га/ч согласно данным источника [3].

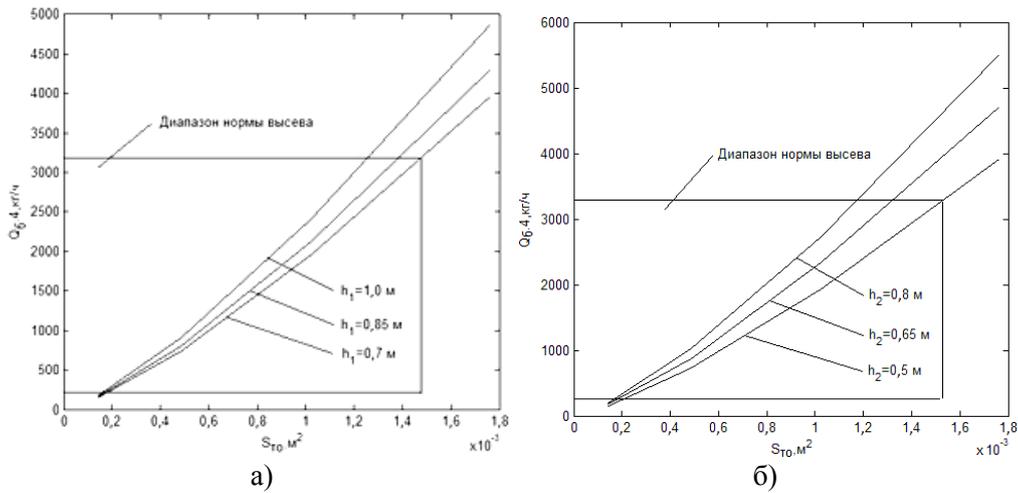


Рисунок 3 – Зависимости $Q_6 = f(S_{T0})$ а) – для нижней части бункера высотой h_1 , б) – для верхней части бункера высотой h_2

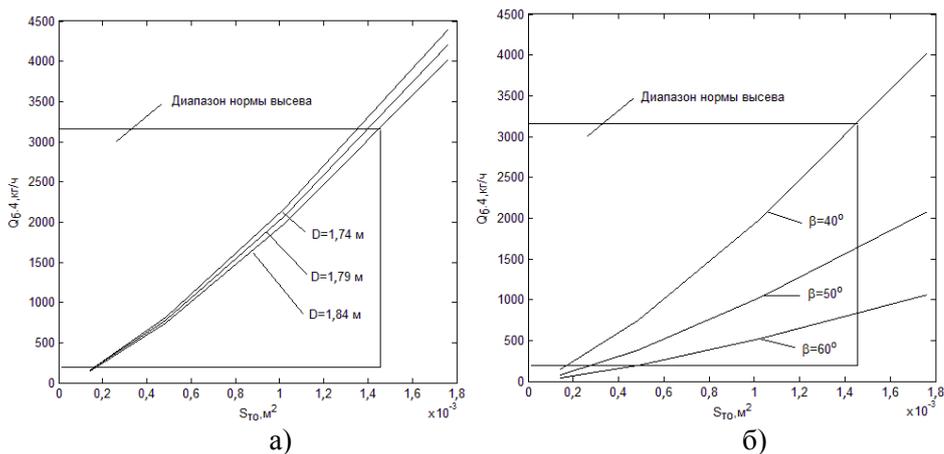


Рисунок 4 – Зависимости $Q_6 = f(S_{T0})$ а) от диаметра D верхней части бункера высотой h_1 , б) от угла β наклона стенок нижней его части высотой h_2

2 Моделирование шнекового питателя высевающего агрегата.

Основным узлом современного высевающего агрегата является питатель, который здесь выступает в роли дозирующего запорного узла, и тем самым, определяет качество высева посевной культуры, скорость ее транспортирования или, в целом, норму высева.

В настоящее время известны 6 основных видов питателей, применяемые в транспортирующих агрегатах: пластинчатые, ленточные, барабанные, аэрационные, плунжерные, электровибрационные, имеющие известные достоинства и недостатки [1-3].

Для повышения качества высева посевной культуры, снижения ее возможного частичного механического повреждения и устранения «заторов» при транспортировании по тракту высевающего агрегата, целесообразно применять шнековые питатели. Их основное назначение это строго дозированная подача

посевной культуры в тракт транспортирования высевашего агрегата с наименьшими потерями и с заданной производительностью [3].

Расчетная схема предлагаемого шнекового питателя высевашего агрегата приведена на рисунке 5.

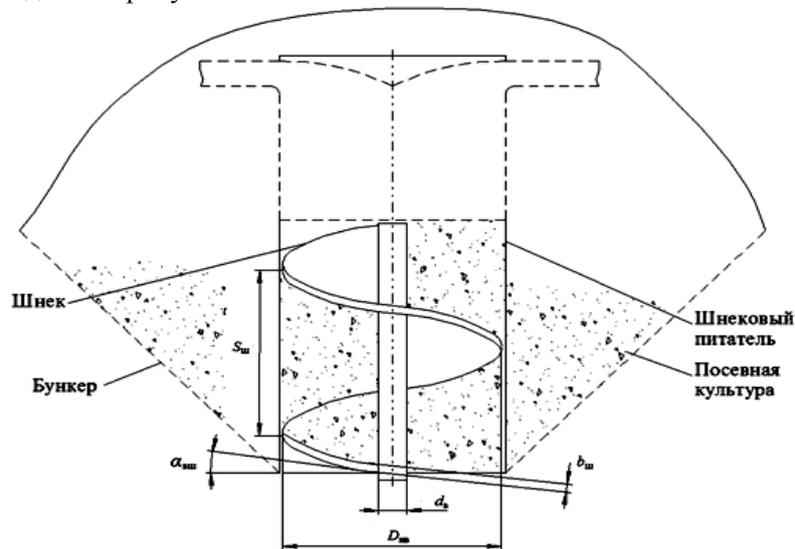


Рисунок 5 – Расчетная схема шнекового питателя высевашего агрегата:
 $S_{ш}$, $\alpha_{вш}$ – шаг и угол наклона винтовых лопастей, $d_{в}$, $D_{вш}$, $b_{ш}$ – диаметр вала, наружный диаметр и толщина винтовых лопастей

В качестве ограничений математической модели производительности шнекового питателя высевашего агрегата приняты следующие: посевная культура близка к форме шара с диаметром $d \gg d_0 = 6 - 10$ мм; взаимодействие зерен посевной культуры друг с другом не учитывается; насыпная плотность посевной культуры по всему объему равномерная; температура, влажность, вибрация, аутогезия, вращательное движение посевной культуры не учитываются. В результате получена следующая математическая модель шнекового питателя высевашего агрегата с пневматической РТС [6]:

$$Q_{шп.4} = V_{пк} K_1 \gamma_n \cdot \frac{J_{агр} k_7}{\pi r_k} - \Delta Q_{шп}, \quad (2)$$

при площади поперечного сечения потока посевной культуры равной $S_{сш} = \frac{\pi}{4} (D_{вш}^2 - d_{в}^2)$, где $V_{пк} = \frac{\pi}{4} (D_{вш}^2 - d_{в}^2) \sin \alpha_{вш} S_{ш} k_6 - V_{св}$ – объем посевной культуры в шнековом питателе, K_1 – коэффициент его заполнения, γ_n – насыпная плотность посевной культуры, $J_{агр}$ – скорость движения высевашего агрегата, k_7 – нормирующий коэффициент, r_k – радиус колес высевашего агрегата, $\Delta Q_{шп}$ – потери посевной культуры в шнековом питателе, k_6 – количество его винтовых лопастей и $V_{св} = \frac{\pi (D_{вш} - d_{в})}{2} \cdot \frac{\pi S_{ш} \sin \alpha_{вш} k_6 b_{вш}}{2}$

объем винтовой поверхности. Результаты математического исследования модели (2) приведены на рисунке 6.

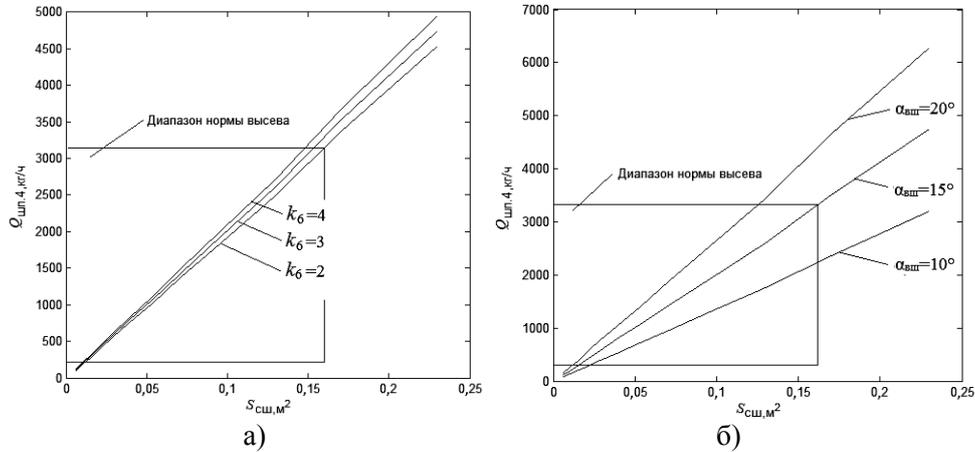


Рисунок 6 – Зависимости а) $Q_{шп.4} = f(S_{сш}, k_6)$ и б) $Q_{шп.4} = f(S_{сш}, \alpha_{вш})$ от количества винтовых лопастей и их угла наклона шнекового питателя

3 Моделирование одноступенчатой пневматической РТС высевающего агрегата по заданной схеме. Анализ современных технических и технологических решений, направленных на улучшение качества высева, показывает, что ряд из них позволяет повысить поперечную равномерность высева. Однако, при этом могут возникать негативные моменты связанные, например, с повреждением семян, усложнением конструкции элементов РТС и др. [1-3].

Пневматические РТС могут выполняться по индивидуальной, групповой и общими одно- и двухступенчатым схемам высева. На рисунке 9 приведена оригинальная схема пневматической РТС высевающего агрегата, состоящая из шнекового питателя и цилиндрического смесителя с распределителем и семяпроводами. Для транспортирования посевной культуры здесь необходим воздушный поток, перемещающий ее из шнекового питателя в смеситель и семяпроводы, а далее в борозды. В смесителе посевная культура перемещается с потоком воздуха, образуя предположительно однородную аэросмесь.

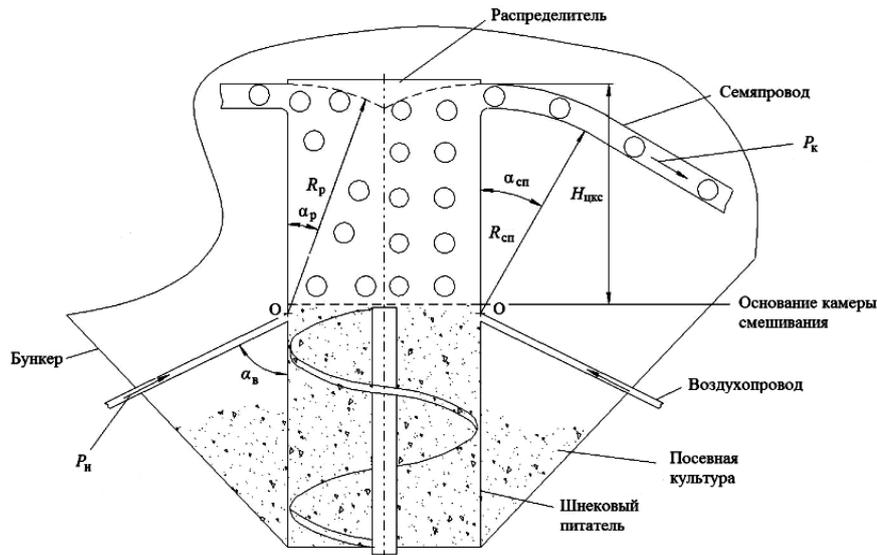


Рисунок 7 – Расчетная схема пневматической РТС:

- $\alpha_{\text{в}}$ – угол наклона воздухопроводов, $P_{\text{н}}$ – начальное давление воздушного потока в смесителе, $\alpha_{\text{р}}$ – угол между радиусом распределителя
- $R_{\text{р}}$ – радиус распределителя, $\alpha_{\text{сп}}$ – угол между радиусом семяпроводов
- $R_{\text{сп}}$ – радиус сгиба семяпроводов, $H_{\text{цкс}}$ – высота смесителя,
- $P_{\text{к}}$ – конечное давление воздушного потока в семяпроводах

Для проведения математического моделирования данной схемы пневматической РТС используется следующая математическая модель:

$$Q_{\text{рс.4}} = k_0 Q_{\text{рв}} \mu \gamma_{\text{ас}} - \Delta Q_{\text{рс}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{цкс}} = \pi d_{\text{цкс}}^2 / 4$ – площадь поперечного сечения смесителя, где k_0 – нормирующий коэффициент, $Q_{\text{рв}} = (BJ_{\text{агр}} H f_{\text{тр}} g K_1) / k_{10} P_{\text{к}}$ – объемный расход воздуха в РТС, B – ширина захвата высевающего агрегата, $J_{\text{агр}}$ – скорость движения высевающего агрегата, H – норма высева посевной культуры, $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения посевной культуры о стенки смесителя и семяпроводов, g – ускорение свободного падения, $K_1 = (H_{\text{цкс}} + 2\pi R_{\text{р}} \alpha_{\text{р}} / k_3 + 2\pi R_{\text{сп}} \alpha_{\text{сп}} / k_3)$, k_3 – коэффициент, k_{10} – нормирующий коэффициент, $P_{\text{к}} = K_1 \gamma_{\text{в}} (1 + \mu) g$ – конечное давление воздушного транспортного потока в конце семяпроводов, $\gamma_{\text{в}}$ – плотность воздуха, μ – массовая концентрация, $\gamma_{\text{ас}} = (2P_{\text{н}} \text{Sin} \alpha_{\text{в}} \pi d_{\text{цкс}}^2) / \lambda S_{\text{мс}} (J_{\text{в}} - J_{\text{пк}})^2$ – объемная плотность аэросмеси, $d_{\text{цкс}}$ – диаметр смесителя, λ – коэффициент аэродинамического сопротивления, $S_{\text{мс}}$ – площадь миделева сечения зерна посевной

культуры, J_v — скорость воздушного транспортного потока, $J_{пк}$ — скорость по­севной культуры, $\Delta Q_{рс}$ — потери посевной культуры в РТС.

Здесь были приняты следующие ограничения: семяпроводы имеют рав­ную длину и их суммарная площадь соизмерима с площадью поперечного сече­ния смесителя; скорость движения и плотность аэросмеси во всем объеме сме­сителя равномерная; вращение зерен посевной культуры при движении не про­исходит; удары зерен посевной культуры о стенки смесителя и семяпроводов со скольжением отсутствуют; изменение физических свойств посевной культуры в процессе транспортирования не происходит.

Результаты теоретического исследования по математической модели (3) производительности пневматической РТС высевающего агрегата по предло­женной схеме приведены на рисунке 8.

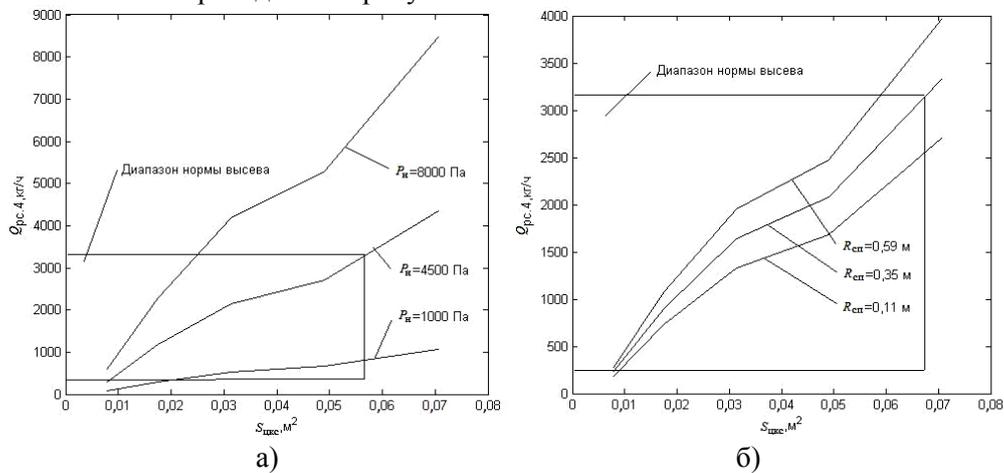


Рисунок 8 – Зависимости а) $Q_{рс.4} = f(P_n, S_{тк})$ и б) $Q_{рс.4} = f(R_{сп}, S_{тк})$ от начального давления воздушного потока смесителя и радиуса семяпроводов

Таким образом. Исследование математических моделей (1)-(3) высевающих агрегатов с пневматической РТС позволило сделать следующие основные выводы.

- 1 Увеличение размеров $h1$ и $h2$ бункера требует увеличения площади $S_{ТО}$ транспортных окон при заданной норме высева посевной культуры.
- 2 Увеличение диаметра D верхней части бункера и уменьшение угла β наклона стенок нижней его части, снижает производительность и нуждается в увеличении площади $S_{ТО}$ транспортных окон для достижения заданной нормы высева посевной культуры.
- 3 Наиболее значимыми величинами, влияющие на производительность конусно-цилиндрических бункеров высевающих агрегатов (сеялок), являются угол β наклона стенок нижней части и высота $h2$ верхней загрузочной части бункера, размер $S_{ТО}$ площади транспортных окон.

4. Увеличение угла $\alpha_{\text{ВШ}}$ наклона винтовых лопастей шнекового питателя и скорости $J_{\text{агр}}$ высевающего агрегата приводят к значительному увеличению производительности при заданной норме высева посевной культуры.

5. Увеличение количества k_6 винтовых поверхностей и их толщины $b_{\text{Ш}}$ шнекового питателя слабо влияют на его производительность.

6. Увеличение давления $P_{\text{н}}$ воздушного потока в смесителе способствует повышению производительности высевающего агрегата при заданной норме высева посевной культуры.

7. При увеличении угла $\alpha_{\text{в}}$ наклона воздухопроводов, радиуса $R_{\text{сп}}$ семяпроводов, высоты $H_{\text{цкс}}$ смесителя приводит приблизительно к одинаковому повышению производительности высевающего агрегата.

Список литературы

1. *Зенков, Р. Л. Бункерные устройства/ Р.Л. Зенков, Г.П. Гриневич, В.С. Исаев. - М.: Машиностроение, 1966.-224 с.*
2. *Богомяжких, В. А. Статическое сводообразование зерновых материалов в бункерах и способы его устранения/ В.А. Богомяжких, В.А. Зацаринный, В.К. Шевкун, Е.В. Рудик, А.Н. Каплунов. - Ростов н/Д: «Терра», 2003. - 89 с.*
3. *Нуйкин, А.А. Посевные и посадочные машины/ А.А. Нуйкин, Н.П. Ларюшин. – Пенза: ПензаАГРОТЕХсервис, 2005. – 164 с.*
4. *Хайлис, Г. А. Механико-технологические свойства сельскохозяйственных материалов. – Луцк: ЛГТУ, 1998. – 268 с.*
5. *Синёнков, Д. В. Моделирование влияния параметров бункера и транспортных окон на производительность бункера сеялок/ Д.В. Синёнков, С.Б. Дёмин// Вестник Дагестанского гос. техн. ун-та. – 2015.– №4 (39).– С.46-53.*
6. *Синёнков, Д. В. Математическое моделирование производительности шнекового питателя высевающего агрегата/ Д.В. Синёнков, С.Б. Дёмин// Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. – 2016.– №8.– С.36-42.*

УДК 004.822
ББК 30

**СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ АКТУАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ
К КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ПРОГРАММ**

© *Д.В. Смирнов, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

**COLLECTION AND PROCESSING SYSTEM OF ACTUAL
REQUIREMENTS FOR QUALIFICATION OF SPECIALISTS TO MAKE
ADVISE FOR CHANGING THE EDUCATIONAL PROGRAMS**

© *D.V. Smirnov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье рассмотрены проблемы процесса актуализации образовательных программ. Предложен вариант оптимизации процесса сбора и обработки актуальных требований к профессиям.

Ключевые слова: профессиональные стандарты, семантика, сайт вакансий.

The article deals with the problem of the educational programs actualization process. A variant of optimize the collection and processing of actual requirements for professions.

Key words: professional standards, semantics, job site.

E-mail:Proof-1@ya.ru

Современный рынок труда с каждым годом все больше и больше демонстрирует несоответствие между вакансиями для специалистов и резюме от вчерашних студентов, которых обучали по устаревшим образовательным программам. Для обеспечения работодателей квалифицированными кадрами необходимо адаптировать Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС), на основе которых формируются основные образовательные программы (ООП) в высших учебных заведениях, к требованиям, предъявляемым работодателями. На Западе еще в 80-е годы прошлого века остро встал вопрос о качестве образования в период быстрого роста экономического роста. Для решения проблемы была поставлена задача перед работодателями: корректно сформировать требования к той или иной специальности, а соискателям необходимо было доказать свою квалификацию путем сдачи квалификационного экзамена. В каком-то смысле эти требования к квалификации и были профессиональными стандартами [1].

Существуют различные определения профессиональных стандартов (ПС). В Трудовом кодексе РФ ПС определяется, как характеристика квалификации, необходимой работнику для осуществления определенного вида профессиональной деятельности, в том числе выполнения определенной трудовой функции [2].

Одним из подходов к разработке ПС является компетентностный подход. Компетенция – совокупность знаний, умений, трудовых навыков и способности работника самостоятельно применять теоретические и практические знания в работе [1]. Порой работодатель, сам того не подозревая, ценит больше компетентность работника, а не квалификацию. Работник должен быть не только подготовлен, а еще и компетентен, т.е. обладать способностью решить проблему в конкретных условиях, уметь применить все свои знания и навыки.

Ранее ПС не являлись необходимым классификатором для системы образования, однако сейчас они в полной мере должны учитываться при разработке ФГОС, потому что отражают точку зрения представителей профессиональных сообществ. Основная проблема в том, что невозможно перенести напрямую все формулировки из ПС в ФГОС, т.к. в этих документах перечень профессий и перечень видов профессиональной деятельности не совпадает.

Процесс анализа всех этих документов вручную, даже по одной специальности, продолжителен и может занимать месяцы и годы. При условии, что с каждым днем возрастает потребность в работниках инновационного типа, результаты труда которых зависят от уровня их компетенции, необходимо создать систему, позволяющую в автоматизированном режиме решать следующие задачи:

- 1) семантический анализ ПС на предмет выявления общих и различных по смыслу компетенций;
- 2) сопоставительный семантический анализ ПС и ФГОС для установления соответствия между формулировками компетенций;
- 3) сопоставительный семантический анализ ФГОС и ООП (или ПС и ООП);
- 4) сопоставление требований работодателей с компетенциями, представленными в ПС, для выявления различий и новых компетенций.

Именно такой подход поможет сэкономить время, ресурсы и обеспечит возможность оперативной актуализации ООП.

Предлагается создать систему сбора, анализа и обработки актуальных требований к квалификации специалистов на рынке труда, которая будет решать сразу несколько задач: осуществлять сбор данных об актуальных требованиях к специалистам на рынке труда, и, основываясь на этих требованиях, сравнивая их с ПС, ФГОС и ООП, анализировать и формировать рекомендации по изменению основных образовательных программ (рисунок 1).

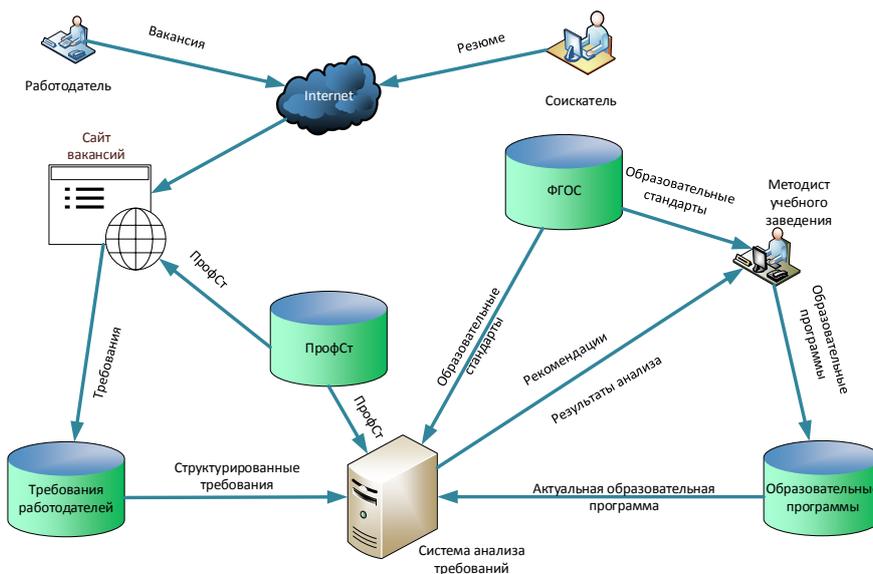


Рисунок 2 – Система сбора и анализа требований

Сбор актуальных требований к специалистам предлагается выделить в отдельную подсистему и представить в виде сайта вакансий. Функции соискателя будут такими же, как и на похожих сайтах: поиск вакансий, составление резюме. Основной целью сайта будет ориентированность на работодателей. Использование ПС в качестве справочника при заполнении работодателями требований позволит упростить процедуру структурирования требований, а также будет являться отличительной чертой сайта. Во время заполнения новой вакансии происходит выбор специальности. Система предложит список требований и компетенций, соответствующих выбранной специальности, которые можно будет редактировать. Работодатель может добавить свои требования к специалисту или удалить лишние по своему усмотрению. Список требований ориентирован на специалистов в данной области, поэтому работодатели, несвязанные с выбранной сферой, деятельности будут просто отсеяны. Всё вышесказанное и будет выделять сайт вакансий на фоне других подобных сайтов.

Каждая новая вакансия на сайте анализируется и сохраняется в базе данных в структурированном виде. Для накопления и хранения данных сайта вакансий предлагается использовать модель данных (рисунок 2) на основе модели данных для представления ПС [3].

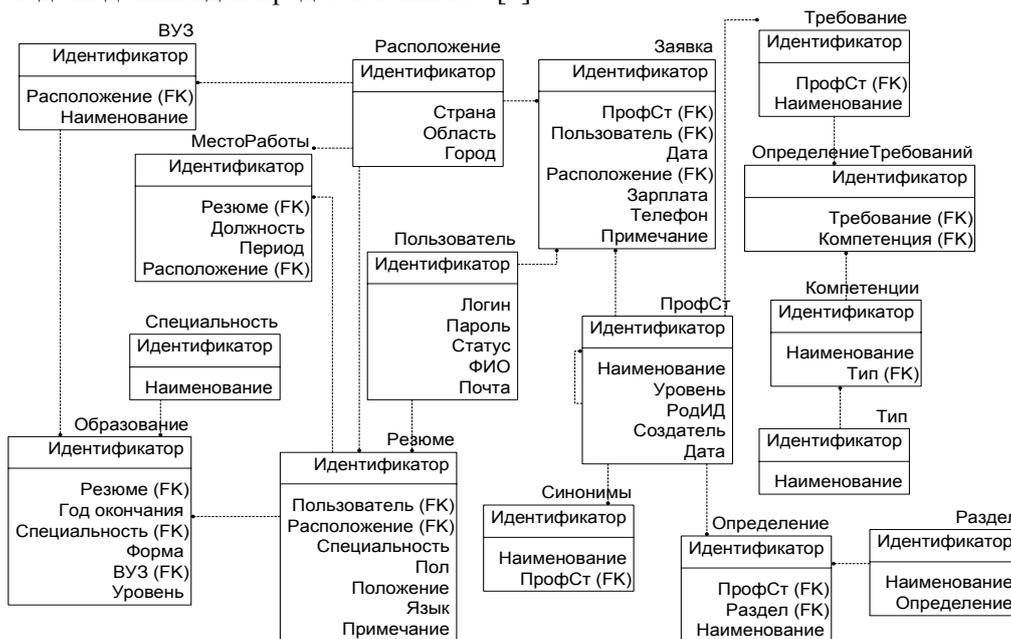


Рисунок 3 – Схема данных сайта

Подсистема анализа требований должна использовать информацию из трех основных баз данных: ФГОС, ПС, сайт вакансий. Основное отличие ПС от ФГОС, в том, что ПС – требование к квалификации, а ФГОС определяет структуру образовательной программы. Пакет данных из каждой базы содержит требования к специальности. Эталонными будут являться пакеты данных из базы ПС, с которыми будут сравниваться данные с сайтов о вакансиях. В результате можно будет выделить список новых (актуальных) требований, который на следующем этапе сравнивается с пакетом из базы ФГОС.

Все пакеты данных представляются в памяти компьютера в форме онтологии. Графически такая онтология представлена в форме ориентированного графа $G(E, V)$ (рисунок 3), в котором корневая вершина представляет профессию.

Другие вершины определяют различные компетенции, которые в свою очередь, определяют требования либо дидактические единицы в составе дисциплин. Каждое понятие (термин) предметной области представляется вершиной $e_i \in E$. Две вершины e_i и e_j соединяются дугой (e_i, e_j) , если понятие j используется для определения смыслового содержания понятия i (дуга направлена от e_j к e_i). Из вершины e_j в соответствующую ей вершину e_i может быть направлена только одна дуга. Каждой вершине $e_i \in E$ ставится в соответствие метка $\mu(e_i)$, соответствующая i -му понятию в документе [4].

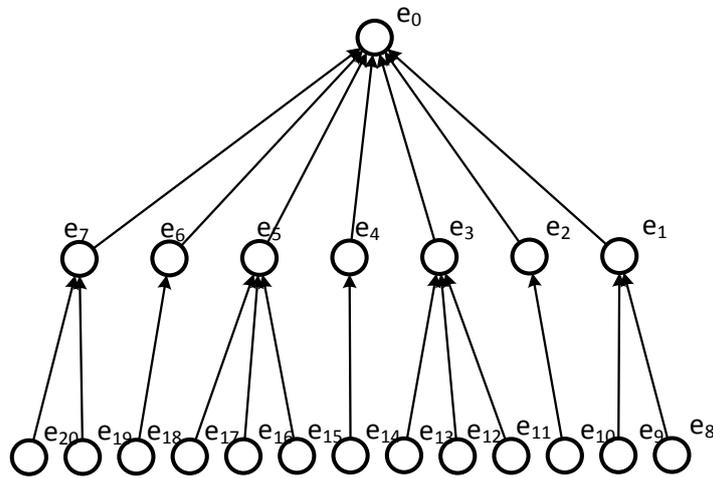


Рисунок 4 – Онтологическая модель пакета данных

Подсистема анализирует и группирует графы по определенным специальностям. Далее сравнивает графы в каждой группе. При использовании указанной модели задача сопоставления смыслового содержания документов $D1$ и $D2$ сводится к определению отношения изоморфизма ориентированных графов $G(E, V)$ и $H(X, Y)$. Для сопоставления графов предлагается использовать алгоритм на основе «волнового» [5].

Если графы $G(E, V)$ и $H(X, Y)$ представляют требования к одной профессии, тогда «корневые вершины» $e_0 \in E$ и $x_0 \in X$ имеют одинаковые метки $\mu(e_0) = \mu(x_0)$ и степени вершин $\rho(e_0) = \rho(x_0)$. В таком случае алгоритм сопоставления графов будет состоять из следующих операций:

- 1) множествам E_R и X_R , которые будут содержать перечни «не рассмотренных» (оставшихся для анализа) вершин, присваиваются значения

множеств вершин графов G и H : $E_R = E$, $X_R = X$; в начале работы алгоритма множества E_R и X_R включают в себя все вершины графов;

2) в состав множеств вершин «предыдущего фронта» E_{pr} и X_{pr} , включаются «начальные» (корневые) вершины графов G и H , $e_0 \rightarrow E_{pr}$, $x_0 \rightarrow X_{pr}$; для всех $x_j \in X$ устанавливаются значения признака наличия соответствующей вершины $e_j \in E$, равными нулю: $\alpha(x_0) = 0$, а для вершины x_0 значение $\alpha(x_0) = 1$;

3) из множеств E_R и X_R удаляются вершины множеств E_{pr} и X_{pr} : $E_R := E_R \setminus E_{pr}$, $X_R := X_R \setminus X_{pr}$

4) если $E_R := \emptyset$, то переход к п.5; (условие выхода из цикла)

5) определение в графе G множества вершин E_{ne} , смежных со всеми вершинами $e_i \in E_{pr}$ и множества X_{ne} , содержащего вершины $x_j \in X_R \setminus X_{pr}$, смежных с $x_k \in X_{pr}$;

6) анализ наличия одинаковых вершин в E_{ne} и X_{ne} :

a. выбор $e_i \in E_{ne}$,

b. поиск $x_j \in X_{ne} \& \mu(x_j) = \mu(e_i)$

c. если соответствующая вершина x_j найдена, то ей в множестве X присваивается признак $a(x_j) = 1$, и выполняется запись результата в массив R_1 ; добавляется пара совпадающих по характеристикам вершин (e_i, x_j) , иначе в массив R_2 записывается пара $(e_i, 0)$, где «0» обозначает отсутствие в X_R вершины, характеристики которой совпадают с характеристиками вершины e_i .

7) замена множеств вершин: $E_R := \emptyset$, $X_{pr} := \emptyset$, $E_{ne} \rightarrow E_{pr}$, $X_{ne} \rightarrow X_{pr}$, переход к п. 3;

8) если $R_2 = \emptyset \& \forall x_j \in X | \alpha(x_j) = 1$, то и вывод сообщения «требования идентичны», поскольку $G \cong H$, иначе:

a. вывод значений R_1 и R_2 , для последующего неавтоматизированного анализа, или

b. если $R_2 = \emptyset$, то вывод сообщения о «невостребованных работодателями требований» по всем $e_i \in R_2 \& (e_i, \emptyset)$.

Результатом анализа должен быть один из трех вариантов:

1) $X \subset E \& E \setminus X = \emptyset$ – все требования от работодателей включены в ПС и часть требований не упоминается в требованиях работодателей;

2) $E \cap X \neq \emptyset \& X \subseteq E$ – требования работодателей полностью соответствуют ПС;

3) $X \cap E \neq \emptyset \& E \setminus X \neq \emptyset$ – имеются требования работодателей, которые отсутствуют в ПС.

Если результат анализа соответствует варианту 3, то необходимо будет определить недостающую часть требований в ПС. Недостающую часть требований необходимо разделить на две части. Первая часть будет включать в себя уже имеющиеся требования (например, для другой специальности), которым сопоставлены дидактические единицы из базы ФГОСа. Вторая часть – новые требования, для компетенций которых нужно сопоставить дидактические единицы.

Для более точного анализа соответствия, необходимо указать вес ребер графов. Вес ребер определяет степень связности между вершинами и позволяет системе обучаться на примерах.

Поиск и сопоставление компетенций и дидактических единиц на основе аналогий включает в себя следующие этапы [6]:

- 1) выбор и просмотр связей текущей компетенции;
- 2) сопоставление полученной информации о компетенции с другими компетенциями;
- 3) выбор наиболее близких компетенций;
- 4) адаптация выбранных компетенций к исходной;
- 5) проверка корректности каждой связи;
- 6) занесение детальной информации о полученном решении в базу подсистемы анализа.

Для получения корректных результатов работы подсистемы, будет необходимо провести «первичную синхронизацию» между ПС и ФГОС, т.е. определить соответствия между компетенциями и дидактическими единицами с учетом весов (рисунок 4).

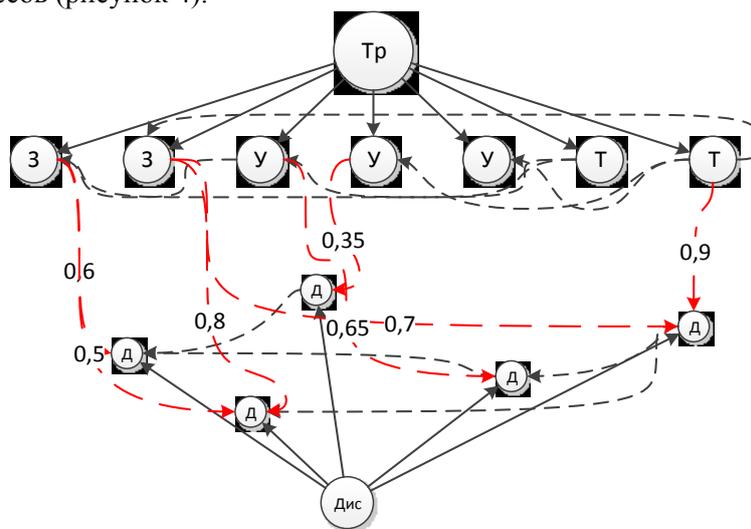


Рисунок 5 – Первичная синхронизация

На начальном этапе работы подсистемы специалист будет получать рекомендации по изменению образовательной программы. По мере накопления информации об анализируемых ситуациях будет формироваться база знаний. При внесении специалистом корректировки в рекомендации, система будет формировать дополнительные правила, которые также будет заносить в свою базу знаний и использовать их в дальнейшем для формирования новых рекомендаций. Таким образом, система будет самообучаться, в дальнейшем получая возможность не только формировать рекомендации, но и полностью формировать образовательную программу.

Список литературы

1. Мелехин В.А. Механизмы разработки профессиональных стандартов педагогических работников // *Человек и образование. Научный журнал.* – 2013. – №3 (36). – СПб: "Институт управления образованием Российской академии образования". – С. 43 – 48.
2. Статья 195.1. Понятия квалификации работника, профессионального стандарта // *Трудовой кодекс российской федерации (ред. от 3 декабря 2012 года) Режим доступа: [Консультант плюс].* - Загл. с экрана.
3. *Профессиональные стандарты в области ИТ [Электронный ресурс].* – Режим доступа: <http://www.apkit.ru/>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения 15.11.2016).
4. Смирнов Д. В. Разработка алгоритма анализа квалификационных требований к профессиям на рынке труда // *Современная наука: теоретический и практический взгляд: сборник статей Международной научно-практической конференции. 29-30 октября 2013 г. Часть 2 / отв. ред. Р.Г. Юсупов.* – Уфа: РИЦ БашГУ, 2013, – С. 71 – 74.
5. Пикулин В.В., Усачев Ю.Е. Алгоритм распознавания изоморфизма семантических сетей для сопоставления документов // *«XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего- плюс»: Периодическое научное издание.* – Пенза: изд. Пенз. гос. технол. акад, вып.03 (03), 2011. – с. 92 – 97.
6. Смирнов Д.В., Пикулин В.В. Модель данных для представления профессиональных стандартов // *Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании: сб. статей III Междунар. науч.-практ. конф.* – Пенза: Приволжский Дом Знаний, 2013, – С. 28 – 31.
7. *Положение о профессиональном стандарте. Утверждено распоряжением Президента Российского союза промышленников и предпринимателей от 28 июня 2007 г. № РП-46.*

УДК 004.92

**КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТА
ПО ЕГО НЕВОСПРОИЗВОДИМОЙ СТОХАСТИЧЕСКИ
НАНЕСЕННОЙ МЕТКЕ**

© *Л.С. Беккель, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Калуга, Россия)*

© *В.Д. Шкилев, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Калуга, Россия)*

**THE CONCEPT OF DEVELOPMENT OF THE IDENTIFICATION
METHOD OF OBJECT ON HIS THE PUT NON-REPRODUCIBLE
STOCHASTIC TAG**

© *L.S. Beckel, Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University
(Kaluga, Russia)*

© *V.D. Schilev, Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University
(Kaluga, Russia)*

Статья посвящена разработке системы идентификации объекта по его невоспроизводимой метке. Предложен новый метод, основанный на использовании стохастического электрического разряда.

Ключевые слова: концепция, идентификация, стохастически нанесенная метка, кодирование и распознавание информации.

This article is devoted to development of the object identification system by its non-reproducible tag. The new method based on use of a stochastic electric discharge is offered.

Key words: concept, indentification, the put stochastic tag, coding and recognition of information.

E-mail: milla2606@rambler.ru

Проблема идентификации объектов (продукции, услуг, бумажных документов и т.д.), установления их принадлежности к определенным классам возникла с давних пор. В настоящее время, в условиях рыночного производства, решение этой проблемы является наиболее актуальным. При появлении большого числа самостоятельно хозяйствующих субъектов основными целями идентификации служат установление финансовой дисциплины, контроль потока продукции и защита потребителя от возможности приобретения фальсифицированных продукции, ценных бумаг, некачественной услуги. Исследование, разработка и создание новых систем контроля и обеспечения безопасности населения, промышленных и гражданских объектов является одной из приоритетных задач развития науки и техники [1]. Процесс идентификации способствует установлению принадлежности данного объекта определенному виду или определенной группе. При присвоении объекту уникального признака он становится отличным от другого, похожего на него, объекта.

В качестве минимального набора идентификаторов приводятся наименование объекта, его условное обозначение или указывается код и номер изделия. Характеристики объекта определяются обозначением нормативного или технического документа.

В настоящее время не существует метода, обеспечивающего 100%-ную достоверность идентификации объектов. Наиболее распространенный среди известных способов – метод автоматической идентификации (штриховое кодирование, радиочастотная идентификация, карточные технологии, биометрические технологии и др.). Он обеспечивает точность, экономию средств, возмож-

ность трассировки и наличие информации, необходимой для управления процессом производства [2-4, 7]. Но данные технологии не гарантируют надежную защиту от подделки, так как не обеспечивают создание индивидуальной метки для отличия отдельного объекта от объектов его класса.

Для создания такой индивидуальной метки, которая оказалась бы невозможной даже для лиц, наносящих ее на объект, необходимо использовать технологии, основанные на стохастических физических процессах. Среди таких технологий известны изотопная идентификация, методы, основанные на изменении спекл-структур, на принципах квантовой механики [5, 6, 8-10].

В результате проведенных исследований авторы пришли к выводу, что в настоящий момент не существует достаточно надежного способа идентификации или предлагаемые методы требуют применения дорогостоящих технологий. Поэтому предлагается создать уникальную метку с помощью электрического разряда (рис. 1). Для придания индивидуальности объекту каждая метка имеет свой индивидуальный номер.

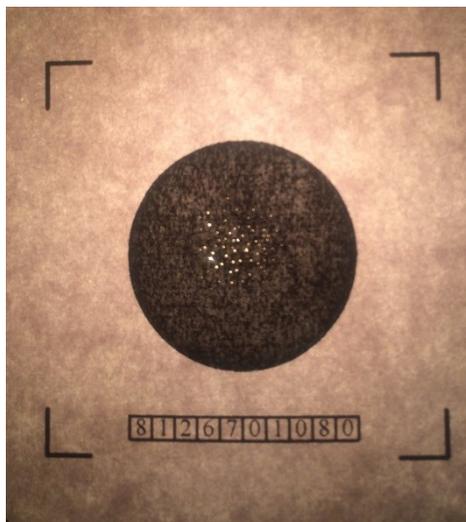


Рисунок 1 – Метка, полученная стохастическим электроразрядным способом

Невоспроизводимость метки объясняется стохастическим характером разряда; невозможностью предугадать и повторно воспроизвести попадание разряда и прожигание отверстия в конкретной точке [11]. «При создании на площади в один квадратный сантиметр около 100 электроразрядных перфораций на идентифицируемом документе вероятность подделки (фальсификации) оценивается в 10^{-450} » [12]. Таким образом, на явление искрового разряда из-за присущих ему квантово-волновых свойств распространяется принцип Паули о неповторимости квантовых состояний.

В качестве объекта был выбран бумажный носитель 3 (для идентификации сертификатов, документов особой секретности, денежных купюр), который помещался на плоский электрод 2 (1 – электрод-острие) (рис. 2).

В процессе идентификации решены следующие задачи:

- фиксация изображения метки и индивидуального кода для последующей обработки;

- применение алгоритмов предварительной обработки полученного изображения;
- определение информативных составляющих метки;
- кодирование информации и нанесение ее рядом с меткой на бумажном носителе;
- сравнение информации, содержащейся в метке, с хранящейся в коде;
- выводы о результатах идентификации.

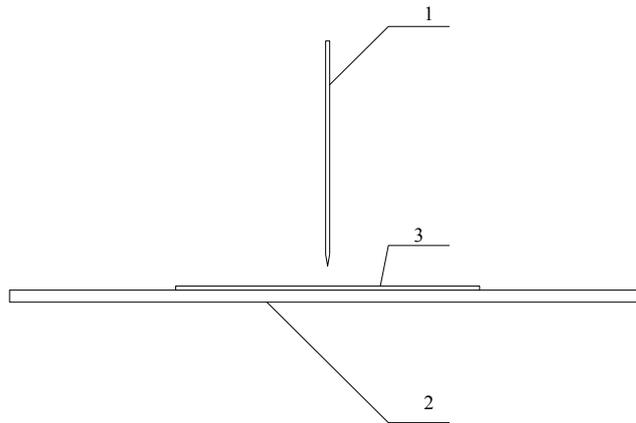


Рисунок 2 – Установка для нанесения метки

На рисунке 3 изображена подсистема подготовки и кодирования информации, иллюстрирующая процесс подготовки объекта к последующей идентификации. Разработка алгоритмов предварительной обработки изображения метки обуславливается необходимостью исключения влияния на результаты идентификации неоднородной структуры волокон бумаги и качества окраски мишени. Реализация этапа кодирования информации требует определения информативных составляющих метки. Для осуществления этих этапов подготовки информации разработаны алгоритмы, использующие методы компьютерной графики. Информация кодируется в QR-код, помещается рядом с меткой на объекте.

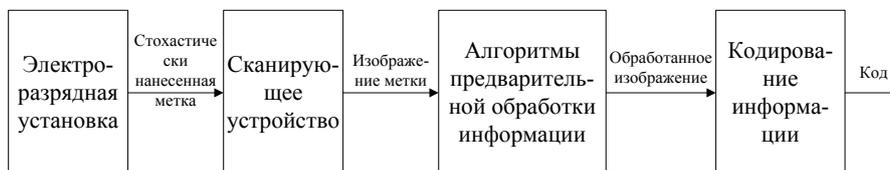


Рисунок 3 – Подсистема подготовки и кодирования информации

На рисунке 4 показана обобщенная схема идентификации объекта, включающая этапы распознавания информации, хранящейся в QR-коде. Идентификация происходит путем сравнения информации метки с данными в коде. Для осуществления сравнения информации, содержащейся в метке, с хранящейся в коде разработаны алгоритмы, использующие методы компьютерной графики.



Рисунок 4 – Обобщенная схема процесса идентификации объекта

В результате проведенного исследования можно сделать вывод о том, что обеспечение надежной идентификации объектов является актуальной задачей. Для решения этой проблемы предложен новый уникальный метод идентификации, не требующий для внедрения использования дорогостоящих технологий. Создаваемая в процессе электрического разряда метка обладает всеми необходимыми свойствами идентификатора: индивидуальностью, относительной устойчивостью, отображаемостью (содержит достаточными признаками для формулирования выводов). Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс обеспечит надежность и достоверность механизма идентификации объекта, в настоящее время подана заявка на получение патента.

Список литературы

1. *О приоритетных научных задачах, для решения которых требуется задействовать возможности федеральных центров коллективного пользования научным оборудованием. Режим доступа:*
2. <http://government.ru/orders/10326/>, свободный.
3. Алесинская Т.В. Основы логистики. Функциональные области логистического управления/ Т.В. Алесинская. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 116 с.
4. Берновский Ю.Н. Основы идентификации продукции и документов: учеб. пособие/ Ю.Н. Берновский. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 351 с.
5. Востриков А.А, Сергеев А.М. Штриховое кодирование: учеб. пособие/ А.А. Востриков, А.М. Сергеев. – СПб.: ГУАП, 2011. – 59 с.
6. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии./ А.Т. Лебедев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 493 с.
7. Goorden S.A. Quantum-Secure Authentication of a Physical Unclonable Key // Optica.– 2014. Vol.1. № 6. – P. 421-424.
8. Rankl W., Effing W. SmartCard: handbook/ W. Rankl, W. Effing. – Chichester: John Wiley&Sons, Ltd, 2010. – 1088 p.
9. Грант 6584214 В1 США. Identification and verification using complex, three-dimensional structural features / R. Pappu, N. Gershenfeld, J.R. Smith. Опубликовано. 24. 06. 2003.
10. Пат. 014299 ЕАПО. Способ спектральной идентификации объектов материальных ресурсов / В.Д. Шкилев, В.Г. Каранфил // Бюл. – 2010. – № 5. – С.16.
11. Пат. 2064697 РФ. Способ маркировки и идентификации объектов / В.К. Ляпидевский // Бюл. – 1996. – № 1. – С. 10.
12. Пат. 2408929 РФ. Способ изготовления штрих-кода / В.Д. Шкилев // Бюл. – 2011. – № 23. – С.1.
13. Шкилев В.Д. Мартынюк Н.П., Адамчук А.Н. Научное открытие в области интерференции искрового разряда №421 // Научные открытия 2011. Сборник кратких описаний научных открытий. – М.: РАЕН, 2012. – С. 46-47.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**XXI век: итоги прошлого
и проблемы настоящего *плюс***

Периодическое научное издание

Серия: Технические науки.

Информатика, вычислительная техника и управление.

ISSN 2221-951X



Научный редактор С.Н. Волков
Компьютерная верстка Н. Хлопцовой

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии «КОПИ-РИЗО»
Пенза, ул. Московская, 74, к. 211. Тел. 56-25-09.
e-mail: tipograf_porovamg@inbox.ru

Сдано в производство 27.12.2016. Формат 70X108 1/16
Бумага типогр. №1. Печать ризография. Шрифт Times New Roman.
Усл. печ. л. 8,9. Уч. изд. л. 9,3. Заказ № 1132. Тираж 50 экз.

Пензенский государственный технологический университет.
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.