

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ИННОВАЦИОННЫХ
И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2018

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ФОРУМ**

Сборник трудов

Том 5

Рязань
Book Jet
2018

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5
С 568

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2018 [текст]: сб. тр. междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.5./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2018; Рязань. – 234 с.,: ил.

Сборник включает труды участников Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2018.

В сборнике освещаются вопросы математического моделирования, новых технологий в радиотехнике, телекоммуникациях, электротехнике и радиоэлектронике, вопросы полупроводниковой наноэлектроники, приборостроения, лазерной, микроволновой техники, силовой промышленной электроники, новые технологии в измерительной технике и системах, биомедицинских системах, алгоритмическое и программное обеспечение вычислительной техники, вычислительных сетей и комплексов, вопросы систем автоматизированного проектирования, обработки изображений и управления в технических системах, перспективные технологии в машиностроительном и нефтехимическом производствах, новые технологии и методики в высшем образовании, в т.ч. вопросы гуманитарной и физико-математической подготовки студентов, обучения их иностранным языкам, перспективные технологии электронного обучения, в том числе, дистанционного, вопросы экономики, управления предприятиями и персоналом, менеджмента, а также вопросы гуманитарной сферы.

Авторская позиция и стилистические особенности сохранены.

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5

ISBN 978-5-7722-0293-7

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2018
© Издательство «Book Jet»,
макет, 2018

ИНФОРМАЦИЯ О МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2018

Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2018 состоялся 28.02.2018-02.03.2018 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2018 состоялись четыре Международные научно-технические конференции:

«Современные технологии в науке и образовании. Радиотехника и электроника», секции

- Радиотехнические системы и устройства;
- Телекоммуникационные системы и устройства;
- Цифровые информационные технологии реального времени;
- Промышленная силовая электроника, электроэнергетика и электроснабжение;
- Физика полупроводников, микро- и нанoeлектроника;
- Микроволновая, оптическая и квантовая электроника;
- Современные методы обработки данных;
- Актуальные задачи химических технологий;

«Современные технологии в науке и образовании. Вычислительная техника и автоматизированные системы», секции

- Алгоритмическое и программное обеспечение вычислительных систем и сетей;
- ЭВМ и системы;
- Системы автоматизированного проектирования;
- Информационные системы и защита информации;
- Математические методы в научных исследованиях;
- Обработка изображений и управление в технических системах;
- Геоинформационные и космические технологии;
- Автоматизация производственно-технологических процессов в приборо- и машиностроении;

• Информационно-измерительные устройства и системы в технике и медицине;

«Современные технологии в науке и образовании. Экономика и управление», секции;

• Проблемы рынка: экономика и управление;

• Актуальные проблемы государственного, муниципального и корпоративного управления;

- Менеджмент и организация производства;
- Бухгалтерский учет, анализ и аудит;
- Управление персоналом;
- Экономическая безопасность;

«Современные технологии в науке и образовании. Новые технологии и методы в высшем образовании», секции

- Современные технологии электронного обучения;
- Иностранный язык в техническом вузе;
- Лингвистика и межкультурная коммуникация;
- Направления и формы гуманитаризации высшего образования;
- Методы преподавания и организация учебного процесса в вузе;
- Гуманитарная подготовка студентов;
- Физико-математическая подготовка студентов;
- Технологии обучения и воспитания на военной кафедре.

Организационный комитет Форума:

Чиркин М.В., И.О. ректора, д.ф.-м.н., проф. – председатель
Гусев С.И., проректор по научной работе, д.т.н., проф. – зам. председателя;
Бухенский К.В., проректор по учебной работе, к.ф.-м.н., доц. – зам. председателя;
Миловзоров О.В., зам. директора института магистратуры и аспирантуры, к.т.н, доц. – координатор;

Устинова Л.С., начальник отдела информационного обеспечения – отв. за информационную поддержку;

Трубицына С.Г., вед. инженер – секретарь оргкомитета;

Благодарова И.А., ведущий программист – секретарь оргкомитета;

члены оргкомитета:

Бабаян П.В., к.т.н., доц., заведующий кафедрой «Автоматика и информационные технологии в управлении»;

Витязев В.В., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Телекоммуникации и основы радиотехники»;

Евдокимова Е.Н., д.э.н., проф., декан Инженерно-экономического факультета;

Еремеев В.В., д.т.н., проф., директор НИИ «Фотон»;

Есенина Н.Е., к.п.н., доц., заведующая кафедрой Иностранных языков;

Жулев В.И., д.т.н., проф., заведующий кафедрой "Информационно-измерительная и биомедицинская техника";

Иваненко Р.В., полковник, начальник Военной кафедры;

Кириллов С.Н., д.т.н., проф., заведующий кафедрой "Радиоуправление и связь";

Клейносова Н.П., к.п.н., доц., директор Центра дистанционного обучения;

Ключко В.К., д.т.н., профессор кафедры «Автоматика и информационные технологии в управлении»;

Коваленко В.В., к.т.н., доц., заведующий кафедрой «Химическая технология»;

Корячко В.П., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования вычислительных средств»;

Костров Б.В., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Электронные вычислительные машины»;

Кошелев В.И., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Радиотехнические системы»;

Лукьянова Г.С., к. ф.-м.н., доцент кафедры «Высшая математика»;

Паршин Ю.Н., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Радиотехнические устройства»;

Круглов С.А., к.т.н., доц., заведующий кафедрой «Промышленная электроника»;

Мусолин А.К., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Автоматизация информационных и технологических процессов»;

Перфильев С.В., д.э.н., проф., заведующий кафедрой «Государственное, муниципальное и корпоративное управление»;

Овечкин Г.В., д.т.н., профессор кафедры «Вычислительная и прикладная математика»;

Пржегорлинский В.Н., к.т.н., доц., заведующий кафедрой «Информационная безопасность»;

Пылькин А.Н., д.т.н., проф., декан факультета Вычислительной техники, заведующий кафедрой «Вычислительная и прикладная математика»;

Серебряков А.Е., к.т.н., зам. заведующего кафедрой «Электронные приборы»;

Соколов А.С., д.и.н., заведующий кафедрой «Истории, философии и права»;

Таганов А.И., д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Космические технологии»;

Федорова Л.А., д.э.н., профессор кафедры «Государственное, муниципальное и корпоративное управление»;

Холомина Т.А., д.ф.-м.н., проф., заведующая кафедрой «Микро- и наноэлектроника»;

Чеглакова С.Г., д.э.н, проф., заведующая кафедрой «Экономическая безопасность, анализ и учет».

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ.
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ»**

**СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА
ИНФОРМАЦИИ»**

УДК 004.652.5; ГРНТИ 50.41.21

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ СОЗДАНИЯ
ГРАФОВЫХ БАЗ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

А.В. Маркин*, Н.В. Куликов**

Рязанский государственный радиотехнический университет,

**Россия, Рязань, avm-52@mail.ru*

***Россия, Рязань, ht_holod@mail.ru*

Аннотация. Рассматривается задача анализа средств создания графовых баз данных информационных систем.

Ключевые слова. Анализ, средства, разработка, база данных, информационная система, система управления базами данных, модель, структура, граф.

**ANALYSIS OF METHODS AND MEANS OF CREATION
OF THE DATABASE OF DATA OF INFORMATION SYSTEMS**

A.V. Markin*, N.V. Kulikov**

Ryazan State Radio Engineering University,

**Russia, Ryazan, avm-52@mail.ru*

***Russia, Ryazan, ht_holod@mail.ru*

Abstract. The problem of the analysis of the means for creating graph databases of information systems is considered.

Keywords. Analysis, tools, development, database, information system, database management system, model, structure, graph

Введение

Информационные системы (ИС), в настоящее время, находят применение во многих областях, например, образовании, медицине, экономике, машиностроении и т.д.

В ИС используются базы данных (БД), сохраняющие всю необходимую информацию: списки абонентов, заявок, списки услуг и т.д. Обычно применяются реляционные БД. В таких базах информация хранится в виде таблиц и связей между ними. Для работы с информацией применяется язык структурированных запросов SQL. Именно по этой причине реляционные БД часто называют SQL базами [1].

В последнее время стали использоваться так называемые базы NoSQL. Появляются новые виды БД, не связанные с SQL. Одним из таких видов являются графовые базы данных.

Целью настоящей работы является анализ методов и средств создания графовых баз данных информационных систем для разработки информационного обеспечения учебного курса, включающего в себя теоретический материал и лабораторный практикум.

Главными задачами работы являются:

- обзор основных типов NoSQL БД;
- изучение особенностей графовых БД, обоснование использования именно этого типа БД;
- обзор основных СУБД, основанных на графовых моделях данных;
- исследование особенностей СУБД Neo4j, анализ данной системы, ее возможностей;

- изучение операторов языка Cypher, используемого в Neo4j;
- разработка теоретического материала и лабораторного практикума по системе Neo4j.

1. Обзор основных видов NoSQL баз данных

Хотя реляционные БД и обеспечивают простоту, устойчивость, гибкость, производительность, масштабируемость и совместимость, их показатели по каждому из этих пунктов не всегда выше, чем у аналогичных систем, ориентированных на какую-то одну особенность.

Одно из значений термина «NoSQL» — это отход от реляционной модели в сторону более специфических моделей данных. Например, довольно успешными NoSQL-системами являются системы хранения типа «ключ-значение». Модель данных в таких системах проста — ассоциативный массив, где ключи имеют строковый тип, а значения могут быть любого типа. Как и любой ассоциативный массив, системы типа «ключ-значение» поддерживают лишь ограниченный набор операций — прочитать значение по ключу, установить значение ключа, удалить ключ и связанное с ним значение.

Хранилище типа "ключ-значение" - это таблица, использующаяся в основном тогда, когда доступ к БД осуществляется по первичному ключу. Эту таблицу можно представить, как традиционную реляционную СУБД с двумя столбцами. [2].

Другой пример NoSQL-систем — это документные хранилища. Объекты в таких системах обычно являются ассоциативными массивами свободной структуры, то есть в одной и той же "таблице" могут храниться разные объекты. Примеры систем такого класса — MongoDB и Cassandra. В зависимости от того, какие данные хранятся в БД, ее производительность может сильно варьироваться.

В документо-ориентированных хранятся документы. Документы могут содержать вложенные структуры и обладают высокой гибкостью, что делает их пригодными для использования в различных предметных областях. Система накладывает немного ограничений на входные данные при условии, что эти данные удовлетворяют базовым требованиям к возможности представления в виде документа. В различных документных БД используются различные подходы к индексированию, формулированию произвольных запросов, репликации, обеспечению согласованности и другим аспектам. [3].

Третий пример NoSQL-систем — это графовые БД. Они, как правило, заточены под обработку конкретной структуры данных, причем обычно для работы с большим объемом данных [4].

Основными объектами в графовых БД являются узлы и их взаимосвязи. Граф — это набор вершин и ребер или набор узлов и взаимосвязей между ними. В графах объекты БД представлены в виде узлов, а способы, которыми объекты соединены между собой, — взаимосвязями [5].

Достоинствами графовых БД являются быстрый поиск в больших объемах данных - в несколько раз быстрее, нежели в реляционных. К тому же, при использовании графовой БД нет необходимости составлять схему объектов в структуре таблиц. Схема для графовой БД — совокупность объектов с присущими им свойствами и отношениями между объектами.

К тому же, структура таких БД достаточно интересна: благодаря построению структур данных с помощью графов появляются новые возможности для работы с этими структурами. Модели, построенные на основе графов наглядны и привычны для понимания людьми, далекими от темы БД, информатики, разработки и т.п.

В настоящее время множество ИС построено именно на графовых БД. Различные интернет-магазины, благодаря графовому построению, могут определять предпочтения клиента и предлагать ему необходимую продукцию. Социальные сети построены с помощью графов — все отметки «мне нравится», друзья, связанные фотографии и прочее хранится в виде графов.

Во время проектирования и даже на стадии разработки часто возникают новые требования к структуре данных, и хорошая модель может внезапно стать плохой. Например, добавление связей делает неприемлемой документо-ориентированную базу данных, а рост количества соединений сильно снижает производительность реляционной БД. В этом случае графы оказываются наиболее универсальным вариантом, позволяющим подстраховаться на случай изменения требований и расширения функционала в будущем.

Обзор существующих систем управления графовыми базами данных

В настоящее время теория графов применяется для решения многочисленных прикладных задач в различных сферах: для оптимизации маркетинговых кампаний, выявления предпочтений покупателя по запросам в поисковой системе, анализа социальных сетей и т. п.

Рассмотрим наиболее популярные СУБД, использующие для обработки, представления или анализа информации с помощью графовых БД:

- Neo4j;
- GraphX;
- TeradataAster.

Модель Neo4j предусматривает два типа сущностей: вершины, которые могут обладать набором свойств, и ребра, которые связывают эти вершины. Ребра могут обладать набором свойств и относиться к различным типам.

Одним из плюсов Neo4j является то, что в ней нет жестко заданной модели данных, и при необходимости можно добавить связь нового типа или изменить набор свойств какой-либо вершины. В Neo4j имеется интерфейс REST API, а также ряд интерфейсов для работы с данными и API для многих языков программирования, в том числе Java, Python. В СУБД применяется специализированный язык запросов Cypher, предназначенный для обращения к данным, представленным в виде графа.

Кроме того, Neo4j распространяется бесплатно и абсолютно любой пользователь может использовать эту СУБД. Также в ней есть подсказки для начинающих, удобный интерфейс, инструменты для построения запросов.

Дополнительным достоинством данной СУБД является то, что в Neo4j изначально включены функции для решения наиболее типичных задач, таких как поиск кратчайшего расстояния.

В GraphX имеется API для языка Scala, в котором предусмотрены стандартные функций для решения типичных задач на графах, а также механизмы для обхода графа вручную, что открывает множество возможностей для реализации специализированных аналитических алгоритмов. Например, можно реализовать алгоритм, для которого еще нет готовых библиотек или функций, работающих в распределенной среде.

В отдельную группу инструментов, позволяющих работать с графами, можно выделить универсальные исследовательские средства, широко применяемые в корпоративной среде. Пример такого инструмента — система Teradata Aster, предлагающая для решения задач на графах отдельный механизм SQL-GR, позволяющий распределить выполнение операций на масштабируемом пространстве данных.

В системе имеются возможности для решения стандартных задач на графах: нахождение кратчайших путей, определение различных мер центральности, нахождение замкнутых циклов и т.д. Модель данных, которая описывает граф в Aster, представляет собой две таблицы реляционной СУБД: таблицу вершин и таблицу ребер. Пользователям, которые не знакомы с языками программирования, предлагается интерфейс на базе SQL, позволяющий анализировать данные [6].

Произведен анализ представленных графовых СУБД на основе следующих характеристик:

- способ распространения;
- популярность;
- способность решения задачи кратчайшего пути;
- сложность установки и настройки;
- системные требования.

В таблице 1 представлены результаты сравнения основных характеристик рассмотренных СУБД.

Таблица 1 – Результаты сравнения основных графовых СУБД

Характеристика	Neo4j	GraphX	Teradata Aster
Решение задачи нахождения кратчайшего пути	Имеется готовая функция для поиска кратчайшего пути, при этом предоставляется возможность выбора алгоритма: алгоритм Дейкстры, алгоритм A* (A-star) и др	Придется вручную реализовывать соответствующий конкретный алгоритм, используя API обхода графа	Доступен ряд готовых функций, позволяющих находить кратчайшие пути, указав один SQL-вызов
Способ распространения	Свободно распространяемый	Свободно распространяемый	На платной основе
Популярность	21 место	Нет в рейтинге	88 место
Установка и настройка	Необходимо лишь скачать файл для установки и запустить его. Особой настройки не требуется	Программа установки сама по себе не требует. Архив содержит в себе непосредственно исполняемый файл graphx.exe и необходимые библиотеки для работы приложения.	Обычная установка на ПК
Системные требования к ОС	Есть версии для различных ОС	Есть версии для различных ОС	ОС: Microsoft® Windows® (7+)

Исходя из результатов сравнительного анализа графовых СУБД, можно сделать несколько выводов:

- Neo4j наиболее популярна, бесплатна, имеет различные версии для разных ОС (универсальная), встроенные средства для взаимодействия с графовой БД и не имеет высоких системных требований;
- СУБД GraphX имеет версии для различных ОС, но вот при решении задачи нахождения кратчайшего пути могут возникнуть трудности;
- система Teradata Aster имеет готовые функции для решения задачи нахождения кратчайшего пути, но не имеет версии под ОС Linux и распространяется на платной основе.

График популярности представленных СУБД за последние годы представлен на рисунке 1. Как видно из графика в последние годы наибольшей популярностью среди графовых СУБД пользуется Neo4j.

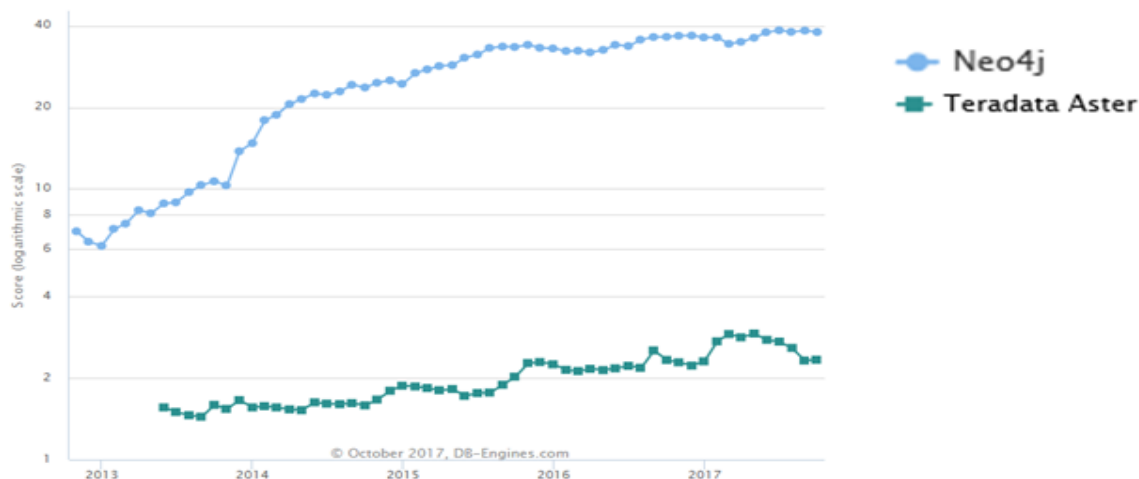


Рис. 1. График популярности графовых СУБД

Таким образом, исходя из результатов сравнительного анализа графовых СУБД, принято решение использовать Neo4j. Она наиболее популярна, бесплатна, существуют различные версии для разных ОС (универсальная), имеет встроенные средства для взаимодействия с графовой БД, удобный интерфейс, не имеет высоких системных требований.

Заключение

Результаты сравнительного анализа показали, что наиболее подходящей для решения поставленных задач является СУБД Neo4j. Она популярна, бесплатна, универсальна и не имеет высоких системных требований.

СУБД GraphX не подходит из-за того, что у нее отсутствуют возможности решения задачи нахождения кратчайшего расстояния.

Teradata Aster доступен не на всех платформах. Поэтому данная СУБД также не подойдет для достижения поставленной цели.

Библиографический список

1. Боуман Д., Эмерсон С., Дарновски М. «Практическое руководство по SQL» 2005. С. 9.
2. П.Д. Садаладж, М. Фаулер «NoSQL: новая методология разработки нереляционных баз данных» - 2013 г. 192 с.
3. Э. Редмонд, Д.Р. Уилсон «Семь баз данных за семь недель» - 2013 г. 384 с.
4. А. Махоткин «Масштабируемые и высокопроизводительные веб-приложения» 2008. с.
5. Я. Робинсон, Д. Вебер, Э. Эфрем «Графовые базы данных. Новые возможности для работы со связанными данными» - 2016 г. 256 с.
6. М. Ганюшкин. Вам TUDA // Открытые системы.СУБД. — 2013. — № 2. — С. 27–29.

УДК 004.043; ГРНТИ 20.53.19

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОКУМЕНТО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СУБД ДЛЯ АНАЛИЗА БИЛЛИНГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Д.В. Аникеев, А.В. Маркин, А.В. Пудова

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, anna.pudova1997@gmail.com

Аннотация. Рассматривается возможность анализа информации биллинговой системы с использованием документо-ориентированной СУБД, на примере MongoDB. Проведено сравнительное тестирование СУБД MongoDB и Microsoft SQL Server. Сделан вывод о применимости, рассматриваемых видов СУБД в зависимости от объема и представления обрабатываемых данных.

Ключевые слова. Документо-ориентированные СУБД, анализ информации биллинговых систем.

THE USE OF DOCUMENT-ORIENTED DBMS FOR THE ANALYSIS OF BILLING INFORMATION

D.V. Anikeev, A.V. Markin, A.V. Pudova

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, anna.pudova1997@gmail.com

Abstract. The possibility of optimizing the process of information processing billing system using a document – oriented DBMS MongoDB. The comparative testing of MongoDB DBMS and Microsoft SQL Server was carried out. It is concluded that the considered types of DBMS are applicable depending on the volume and presentation of the processed data.

Keywords. Document-oriented DBMS, information analysis of billing systems.

Введение

Биллинг обслуживания коммунальных услуг представляет собой систему выдачи и получения информации обо всех абонентах: их оплатах и начислениях за определенный период, задолженностях и переплатах, а также других характеристик.

Примером биллинговой системы является расчетно-платежный комплекс (РПК) «Абонент+» [1]. Платежная система, входящая в его состав, состоит из хранилища данных на базе СУБД Firebird, в которой хранится вся информация об абонентах, и процессингового центра, включающего MS SQL Server и MongoDB [2, 3].

Структура платежной системы представлена на рисунке 1.

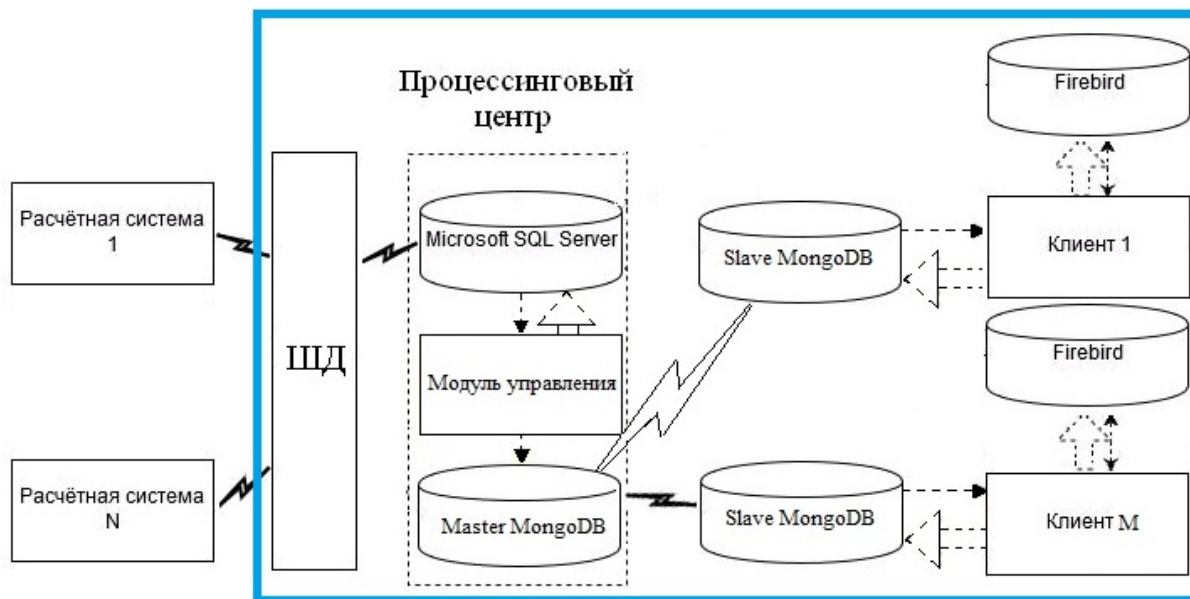


Рис.1. Структура платежной системы РПК «Абонент+»

Из расчетных систем РПК данные передаются через шину (ШД) в БД MS SQL Server процессингового центра. При внесении изменений в данные, хранящиеся в БД СУБД MS SQL Server, информация с помощью модуля управления поступает в БД СУБД MongoDB.

СУБД MongoDB реплицируется на сервера клиентов платежной системы. Клиент, подключаясь к slave серверу, взаимодействует с БД MongoDB и получает информацию об абонентах [4].

Схема использования реляционной СУБД MS SQL Server и нереляционной СУБД MongoDB имеет следующие преимущества:

- уменьшение нагрузки на сервер с MS SQL Server, реляционную СУБД и канал связи;
- увеличение скорости выполнения операций на клиентах, за счет получения данных об абонентах без операции соединения таблиц.

На текущий момент кодированные данные об абонентах в системе представлены в текстовом, недостаточно структурированном формате.

Для анализа хранящейся и поступающей биллинговой информации о движении денежных средств возникают разного рода проблемы при декодировании данных в указанном формате. Недостатками такого формата хранения данных являются:

- отсутствие возможности выборки данных и отдельных составляющих строки без ее предварительного разбора;
- достаточно большой объем памяти, отводимый под хранение строк;
- неудобство работы с числовыми данными, представленными в строке.

Устранить перечисленные недостатки может позволить преобразование исходных данных в структурированный формат с помощью стандартных средств СУБД MS SQL Server или MongoDB. Для определения наиболее подходящей из рассматриваемых СУБД проведено тестирование.

Тестирование

Целью тестирования является сравнение возможностей и производительности СУБД MongoDB и MS SQL Server по преобразованию БД со строками, содержащими различное количество параметров, из текстового формата в структурированный вид.

Тестирование проводилось на одной машине с помощью программных средств, представленных в таблице 1.

Таблица 1. Программные средства

	Версия	Разрядность операционной системы
MongoDB	3.6.2	64 - х разрядная
Microsoft SQL Server	2017	64 – х разрядная

Для преобразования данных из текущего формата строки с неопределенным количеством параметров можно использовать встроенные средства СУБД по работе с текстовым форматом или регулярные выражения.

Регулярные выражения благодаря возможности анализировать текст на соответствие предопределенному шаблону, чтобы извлекать, изменять, заменять и удалять подстроки, выполняют преобразование быстрее встроенных средств СУБД MS SQL Server и MongoDB. Поэтому из возможных способов реализации поставленной задачи выбраны регулярные выражения.

В Microsoft SQL Server, в отличие от MongoDB, нельзя напрямую использовать регулярные выражения, но доступная библиотека vbscript.dll предоставляет возможность ра-

боты с ними. Благодаря этому преобразование строки в табличную форму реализуется хранимой процедурой, запускаемой с помощью триггеров.

Пример информационной строки до преобразования:

"11=1;12=2018;46=01.12.2017;5=25484.87;15=607.66;16=0;17=0;18=0;19=0;20=24877.2;36=12.8725;21=2;6=0;35=1;23=16.38руб./м2;24=\\"0.03у.е./м2\\";\3.33у.е./м2\\";\\"0.03у.е./м2\\";\3.33у.е./м2\\";58=5.71557877335405 руб./у.е.;59="

Поскольку преобразуемые строки имеют разное число параметров и длину, а также содержат вложенные объекты, в таблице появляются столбцы с несколькими значениями, что не согласуется с правилами нормализации реляционных БД. Следовательно, строка с исходными данными в СУБД MS SQL Server представляется в виде совокупности нескольких таблиц. На рисунке 2 представлен фрагмент полученной родительской таблицы, содержащей атомарные данные строки и внешние ключи на таблицы, представляющие вложенные объекты.

ID	Month	Year	Nachisl	Services
169	1	2018	607.66	1

IDNorma	ValueNorma
1	0.03 у.е./м2
2	0.03 у.е./м2
3	3.33 у.е./м2

Рис.2. Результат преобразования строки в СУБД MS SQL Server

С помощью средств СУБД MongoDB входные данные преобразуются в JSON формат [5]. Для этого используется хранимая функция. По своей структуре функция представляет набор стандартных команд и методов СУБД MongoDB, запускаемых последовательно, с добавлением цикла для обновления всех документов коллекции.

Фрагмент БД с преобразованными данными к формату JSON представлен на рисунке

3.

DestParams	[1 element]	Array
[0]	{ 2 fields }	Object
Id	169	Int32
Value	[25 elements]	Array
[0]	{ 1 field }	Object
[1]	{ 1 field }	Object
[2]	{ 1 field }	Object
[3]	{ 1 field }	Object
[4]	{ 1 field }	Object
Начисление	607.66	Double
[5]	{ 1 field }	Object
[6]	{ 1 field }	Object
[7]	{ 1 field }	Object
[8]	{ 1 field }	Object
[9]	{ 1 field }	Object
[10]	{ 1 field }	Object
[11]	{ 1 field }	Object
[12]	{ 1 field }	Object
Норма	[3 elements]	Array
[0]	0.03 у.е./м2	String
[1]	0.03 у.е./м2	String
[2]	3.33 у.е./м2	String

Рис.3. Результат преобразования строки в СУБД MongoDB

Для проведения количественного сравнения рассматриваемых СУБД произведены временные замеры по обработке разного количества строк. Полученные результаты тестирования представлены в виде таблицы 2, выделенных контрольных точек, и графика зависимости времени, затраченного на преобразование, от объемов полученных данных, изображенного на рисунке 4.

Таблица 2. Результаты преобразования неструктурированных данных

Тестовая СУБД	Время, с	Количество импортируемых строк, тыс.
MongoDB	~ 2,39	50
	~ 12,1	250
	~ 26,3	500
MS SQL Server	~ 2,26	50
	~ 11,55	250
	~ 25,8	500

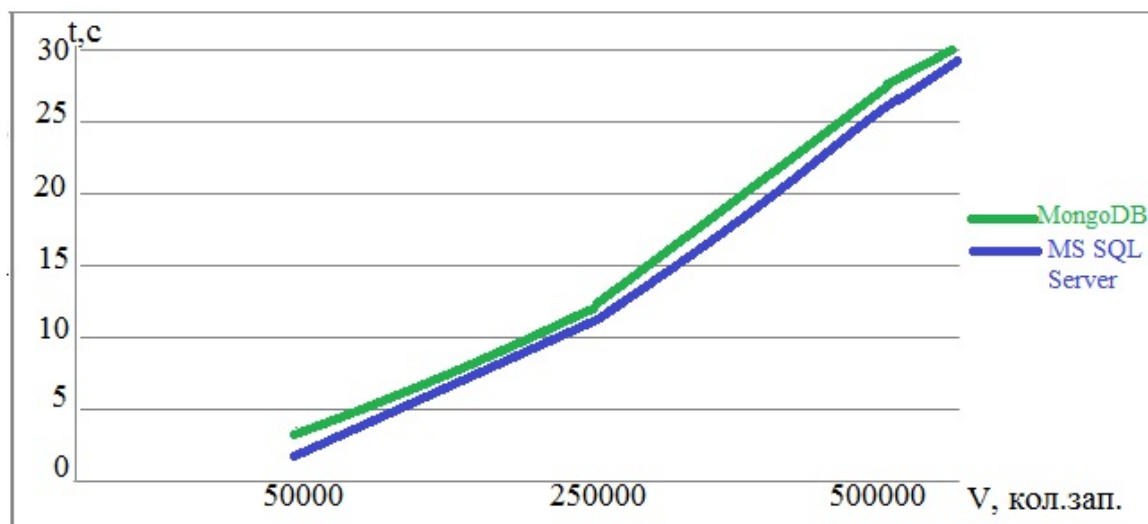


Рис. 4. Зависимость времени преобразования от объема

Для получения времени преобразования по каждой точке выполнено 15 замеров. Из результатов тестирования следует, что производительность СУБД MS SQL Server по преобразованию неструктурированных данных выше, чем в СУБД MongoDB. Рассчитанная процентная разница составила 1,96%. При работе с 10,5 млн. строк данное процентное соотношение дает выигрыш в 9,6 с. Хотя MS SQL Server, по сравнению с MongoDB, выполняет преобразование быстрее, в ходе выполнения процесса обработки информации биллинговых систем в дальнейшем возникают проблемы, связанные с получением информации из таблиц. Для осуществления выборки данных по всему содержимому исходной строки нужно выполнить операцию соединения таблиц, что понижает общую производительность биллинга. При работе с MongoDB таких проблем нет, поскольку исходная строка сразу преобразуется в один объект формата JSON и сборка элементов объекта не требуется.

Выводы

Проведенные исследования показали, что в СУБД можно использовать процедурные возможности языков для преобразования текстового формата в структурированный вид. В ходе анализа результатов сравнительного тестирования MongoDB и MS SQL Server выявлено, что, несмотря на выигрыш в производительности MS SQL Server на 1,96 %, обе рассмотренные СУБД подходят для преобразования текстовых данных. Однако СУБД MS SQL Server эффективнее используется в системах, где не требуется сборка объекта, например OLAP, а СУБД MongoDB в системах, где требуется собирать объект, что позволяет использовать ее для анализа информации в биллинговых системах.

Библиографический список

1. Расчетно-платежный комплекс «Абонент+» [Электронный ресурс] // «Абонент+» URL: <http://abonentplus.ru/> (дата обращения: 06.02.2018).
2. Ю.П. Парфенов. Постреляционные хранилища данных. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 120 с.
3. С.А. Мартишин, В.Л. Симонов, М.В. Храпченко. Базы данных практическое применение СУБД SQL и NOSQL – типа для проектирования информационных систем. - Москва: ИД «Форум»: ИФРА – М, 2016. – 368 с.
4. А.В. Маркин, В.А. Шуваев. Анализ средств NoSQL для построения распределенных баз данных в сфере ЖКХ Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Современные технологии в науке и образовании». - Рязань: сб. тр. обл. науч. Конф. Том 3, 2016. - С. 65-68.
5. Введение в JSON [Электронный ресурс] URL: <http://www.json.org/> (дата обращения 08.02.2018).

УДК 621.391.1:519.8; ГРНТИ 49.33.01

ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ ДВУХТОНАЛЬНОЙ МНОГОЧАСТОТНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ В ТРАФИКЕ IP СЕТИ

И. В. Хлопенко

*Академия Федеральной службы охраны России,
Российская Федерация, Орёл, i.hlopenko@yandex.ru*

Аннотация. Высокая интенсивность развития коммуникационных технологий позволяет нарушителям дистанционно подключаться к коммутационному оборудованию с использованием DTMF сигналов. Для защиты от разрушающих информационных воздействий используются такие методы обнаружения и фильтрации, как детекция по критерию Неймана-Пирсона и стохастическая фильтрация. Использование этих методов может защитить от разрушающих информационных воздействий без необходимости прерывания соединения.
Ключевые слова. Двухтональная многочастотная сигнализация, несанкционированный доступ, разрушающее информационное воздействие, IP сеть.

DETECTION OF DTMF SIGNALS IN THE TRAFFIC OF IP NETWORK

I. V. Khlopenko

*Academy of the Federal Guard Service of Russia,
Russian Federation, Orel, i.hlopenko@yandex.ru*

Abstract. The high intensity of the development of communication technologies allows violators to remotely access the switching equipment using DTMF signals. To protect against destructive information effects, certain detection and filtering methods are used, namely Neumann-Pearson detection and stochastic filtering. Using these methods can protect against destructive effects without the need for a disconnection.

Keywords. DTMF, remotely access, destructive information effects, IP network.

Введение

Высокая интенсивность развития инфокоммуникационных технологий открывает новые горизонты для роста числа предоставляемых услуг и качества связи. В тоже время дан-

ные возможности открывают нарушителям новые методы по осуществлению дистанционного доступа к коммутационному оборудованию.

В связи с этим при совершенствовании сетей связи необходимо учитывать две противоречащие друг другу особенности. 1) Необходимо обеспечить защиту оборудования от разрушающих информационных воздействий, путем их обнаружения и фильтрации. 2) Обеспечение высокого качества обслуживания абонентов.

2. Основные задачи, проблемы и технологии решения в интересах перспективных сетей связи специального назначения

Специфика сетей связи специального назначения предполагает преимущественное использование речевого трафика. Поэтому необходимо учитывать проблемы, связанные с возможностью дистанционного управления коммутационным оборудованием сигналами двухтональной многочастотной сигнализации (DTMF).

Решение данной проблемы осложняется следующими факторами: сравнительно малые интервалы анализа голосовых сообщений и стохастический характер, как передаваемой речи, так и сигналов сигнализации.

В связи с этим предлагается детектировать сигналы двухтональной многочастотной сигнализации, по критерию Неймана-Пирсона, что предусматривает последующее применение стохастической фильтрации для обеспечения защиты от разрушающих воздействий без необходимости принудительного разрыва соединения.

Современные требования к речевым сообщениям предполагают их передачу в цифровой форме. Один из самых часто применяемых методов – это использование импульсно-кодовой модуляции. При этом основной недостаток импульсно-кодовой модуляции заключается в том, что частота дискретизации выбирается несогласованной с частотой сигналов двухтональной многочастотной сигнализации, что приводит к известному эффекту растекания спектра. Растекание спектра сигналов DTMF из-за несогласованности с частотой дискретизации представлена на рисунке 1.

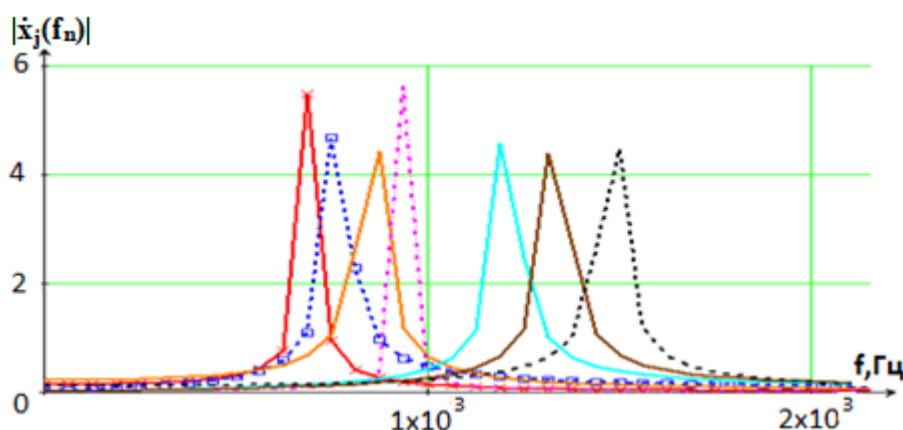


Рис. 1. Растекание спектра сигналов DTMF из-за несогласованности с частотой дискретизации

Другим немало важным фактором, влияющим на обнаружение сигналов сигнализации, служит прогнозирование момента появления этих сигналов из-за невозможности предсказания поведения пользователя. Возникает эффект неопределенности начальной фазы сигнала сигнализации, что приводит к дополнительным случайным отклонениям спектральных составляющих.

Растекание спектра сигналов DTMF из-за неизвестности начальной фазы представлено ниже на рисунке 2.

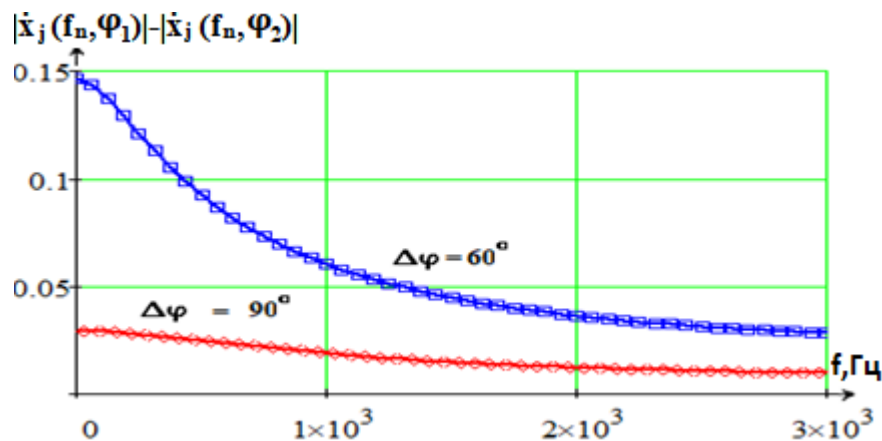


Рис. 2. Растекание спектра сигналов DTMF из-за неизвестности начальной фазы

При создании детектора сигналов двухтональной многочастотной сигнализации следует учитывать стохастический характер, как речевого сигнала, так и сигнализации. При этом основными факторами, влияющими на свойства сигналов сигнализации, оказываются, непосредственно, сама импульсно-кодовая модуляция и непредсказуемость поведения абонентов. Так, абсолютная точность прогнозирования моментов появления сигналов двухтональной многочастотной сигнализации, а также оцифровка сигналов на бесконечной частоте предусматривает рассмотрение сигналов сигнализации как детерминированных. Сигнал DTMF без использования ИКМ представлена на рисунке 3. Неопределенность фазы приводит к размытию спектральной составляющей. Сигнал DTMF с неопределенной фазой представлена на рисунке 4. С другой стороны несогласованность частоты дискретизации ИКМ с сигналами двухтональной многочастотной сигнализации, требует рассмотрения не одномерного, а многомерного распределения этого сигнала. Сигнал DTMF с использованием ИКМ представлен на рисунке 5. В результате сигналы двухтональной многочастотной сигнализации, целесообразно интерпретировать как многомерную случайную величину, каждая составляющая которой представляет собой амплитуду частотной компоненты. Сигнал DTMF с неопределенной фазой + ИКМ представлен на рисунке 6.

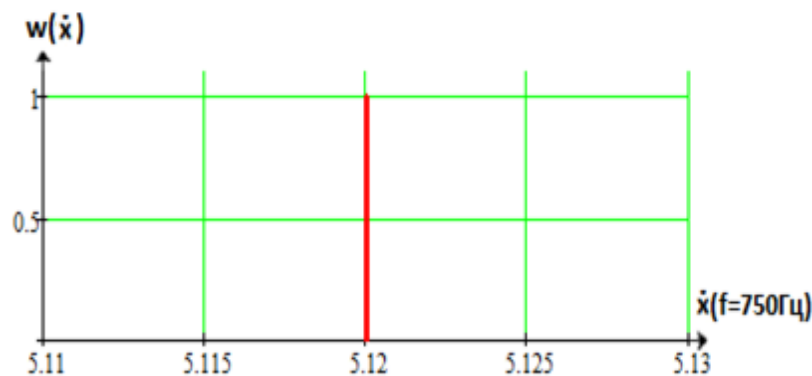


Рис. 3. Сигнал DTMF без использования ИКМ

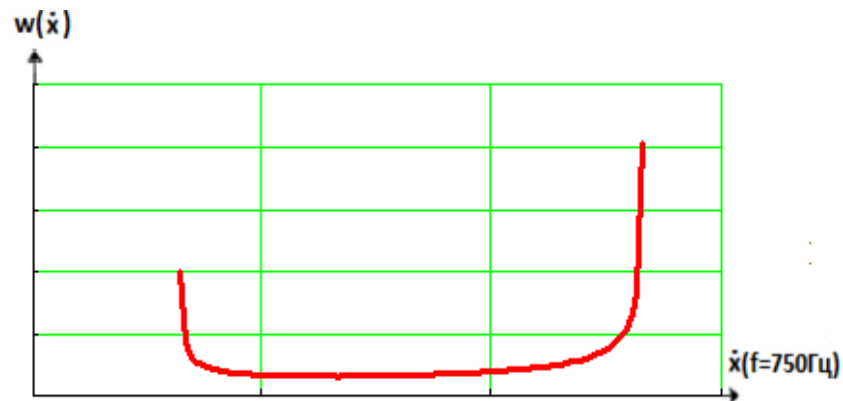


Рис. 4. Сигнал DTMF с неопределенной фазой

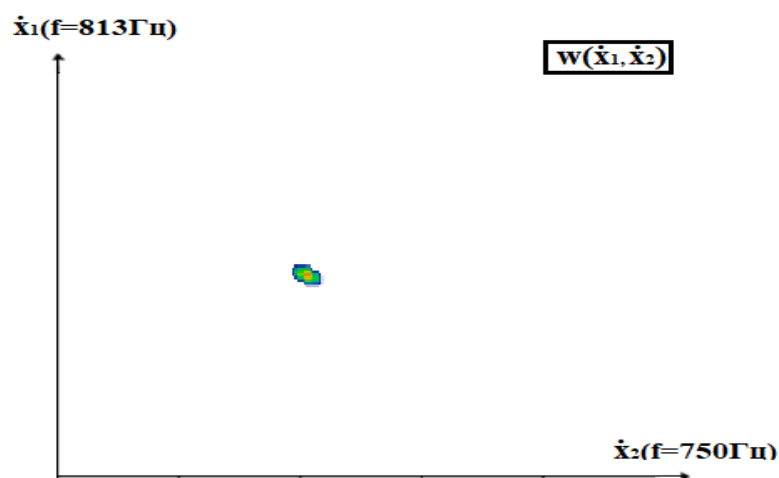


Рис. 5. Сигнал DTMF с использованием ИКМ

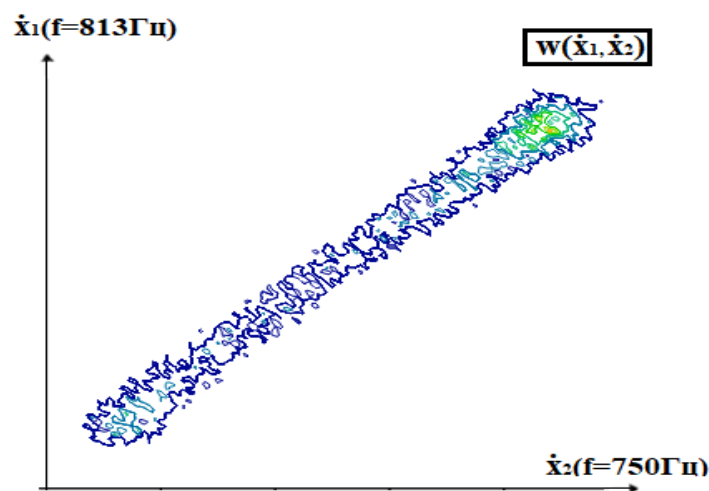


Рис. 6. Сигнал DTMF с неопределенной фазой + ИКМ

Обнаружение сигналов DTMF

Первой задачей предотвращения воздействий с помощью команд управления, является задача обнаружения сигналов двухтональной многочастотной сигнализации. Она предполагает рассмотрение двух гипотез: 1) Наличие сигналов двухтональной многочастотной сигнализации (H_1). 2) Отсутствие сигналов двухтональной многочастотной сигнализации (H_0).

Особенностью постановки данной задачи является не гауссовский характер наблюдаемого вектора амплитуд спектральных составляющих в случае присутствия сигналов двухтональной многочастотной сигнализации. Он вызван, как упоминалось ранее, эффектами импульсно-кодовой модуляции. Классическое решение подобной задачи обнаружения, подразумевает рассмотрение одномерной функции правдоподобия. Обнаружение сигналов DTMF представлено на рис. 7. При этом фиксация вероятности обнаружения (P_d) влечет за собой прямое вычисление порога принятия решения и конкретную, всего одну, вероятность ложной тревоги (P_f). Несогласованность частоты дискретизации с частотой сигналов двухтональной многочастотной сигнализации требует анализа многомерной функции правдоподобия. При этом задание требований к вероятности обнаружения не приводит к односложному вычислению вероятности ложной тревоги. В результате в многомерном случае критерий Неймана-Пирсона потребует решения вспомогательной оптимизационной задачи по поиску оптимального решающего правила в многомерном пространстве. При этом подобные правила в большинстве случаев по характеристикам качества будут выигрывать у порога принятия решения.

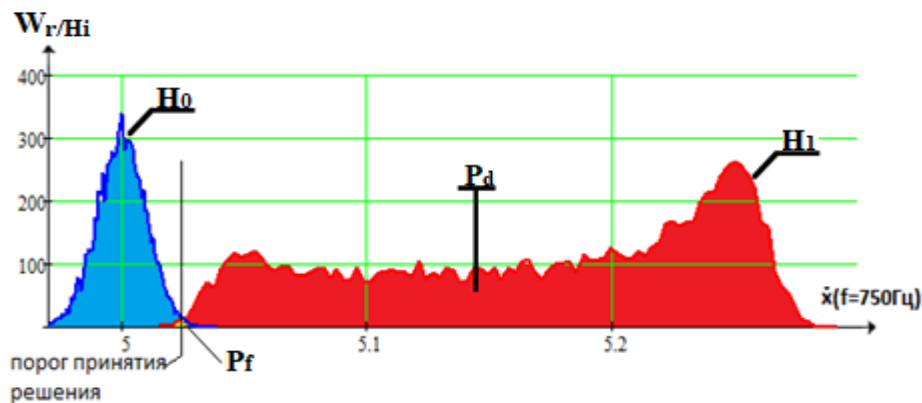


Рис. 7. Обнаружение сигналов DTMF

Выводы

Таким образом к основным предполагаемым результатам исследований можно привести следующее: анализ свойств ИКМ сигнала двухтональной многочастотной сигнализации показал наличие двух существенных эффектов влияющих на качество детектирования сигнала – это эффект растекания спектра и неопределенность начальной фазы сигнала.

В связи с этим решение задачи обнаружения существенно отличается от задач классического типа. Функции правдоподобия обеих гипотез приходится рассматривать, как многомерные плотности. Последующее решение задачи фильтрации сигналов двухтональной многочастотной сигнализации, также потребует учета этих факторов. В связи с этим само устройство фильтрации должно использовать многомерные вероятностные характеристики.

Библиографический список

1. Шкляр В. Н. Надежность систем управления: учебное пособие / В. Н. Шкляр. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
2. Кудряшов Б.Д. Теория информации: учебник для вузов. ИД «Питер». 2009.
3. Кловский Д.Д., Шилкин В.А. Теория электрической связи. Сб. задач и упражнений: Учеб. пособие для вузов. –М: Радио и связь. 1990.
4. Батенков К. А. Технический эффект оптимальных линейных модуляции и демодуляции в беспроводных системах связи // Известия Института инженерной физики. – 2015. – Т. 1, № 35. – С. 24–28.
5. Батенков К. А. Синтез дискретных отображений непрерывных каналов связи / К. А. Батенков. – Орел : Академия ФСО России, 2014. – 392 с.
6. Батенков К. А. Математические модели модулятора и демодулятора с заданным порядком нелинейности // Цифровая обработка сигналов. – 2013. – № 1. – С. 14–21.

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

В. Семенова, С. Ячменцева, Е. Смирнов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, veronisetemeno@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе проведен сравнительный анализ специализированных информационных систем для оценки финансового состояния предприятия. Предоставляется возможность знакомства с системами, существующими на рынке программного обеспечения для финансового анализа. Проводится сравнительный анализ разрабатываемой информационной системы с существующими системами на предмет ее конкурентоспособности.

Ключевые слова. Информационная система, анализ финансового состояния.

ANALYSIS OF INFORMATION SYSTEMS FOR THE ANALYSIS OF THE FINANCIAL CONDITION OF THE ENTERPRISE

V. Semenova, S. Yachmenceva, E. Smirnov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, veronisetemeno@yandex.ru*

Annotation. In this abstract, a comparative analysis of specialized information systems to assess the financial condition of the enterprise. There is an opportunity to get acquainted with the systems existing in the market of software for financial analysis. The comparative analysis of the developed information system with the existing systems for its competitiveness is carried out.

Keyword. Information system, analysis of financial condition.

Предприятию необходимо непрерывно следить за финансовым состоянием с целью принятия управленческих решений. Такую оценку позволяет получить финансовый анализ. Анализ финансового состояния является обязательной составляющей любого предприятия. Исходным материалом для проведения анализа финансового состояния организации является ее финансовая и бухгалтерская отчетность. Для осуществления качественного проведения финансового анализа необходимо рассчитывать довольно большое количество показателей, использовать соответствующие методы и алгоритмы для анализа, а также проводить расчеты для определения вероятности состояния банкротства организации.

В связи с этим, все чаще возникает большая необходимость в использовании специализированных информационных систем по анализу финансового состояния предприятий.

Существующие системы помимо положительных особенностей, имеют ряд недостатков, которые ограничивают их использование. Таким образом, актуальность исследования заключается в необходимости создания специализированной информационной системы, которая позволит реализовать более универсальный, качественный и глубокий анализ финансового состояния предприятия и не будет иметь недостатков, которые имеют нынешние системы.

На сегодняшний день рынок компьютерных информационных систем осуществления финансового анализа предприятий предоставляет широкий выбор разнообразных программ с различным спектром возможностей и различными подходами к решению основных задач, которые позволяют пользователям оценить результаты деятельности предприятий по данным бухгалтерской и финансовой отчетности. Примером таких систем являются Audit Expert, Project Expert, Альт-Инвест, АБФИ - предприятие (Вестона), Альт-Финансы (Альт), различные программы и аналитические комплексы фирмы ИНЭК и другие. Применение информационных систем позволяет автоматизировать процесс проведения комплексного финансового анализа, что обеспечивает высокую точность полученных результатов и расчетов [3].

Рассмотрим более подробно существующие на рынке информационные системы анализа финансового состояния предприятия.

1. Информационная система анализа финансовой и хозяйственной деятельности Audit Expert

Данная система предназначена для диагностики, мониторинга и анализа финансового состояния организации.

Audit Expert в соответствии с Международным стандартом финансовой отчетности преобразует формы бухгалтерской отчетности, а именно бухгалтерский баланс и отчет о прибылях и убытках [1].

Информационная система Audit Expert предоставляет пользователю широкий набор инструментов для подготовки данных, которые используются при проведении анализа. С помощью данной системы пользователь может разработать аналитические таблицы и определить способы расчета финансовых показателей.

Анализ финансового состояния в системе Audit Expert может быть проведен по следующим методам:

- горизонтальный (временный, динамический) анализ;
- вертикальный анализ;
- анализ относительных показателей;
- сравнительный анализ.

Рассматриваемая система является открытым программным продуктом, т.е. алгоритмы всех расчетов доступны для просмотра, также возможно, чтобы пользователь вносил изменения в определенные таблицы для расчета дополнительных финансовых показателей.

Информационная система Audit Expert может работать с бухгалтерскими отчетностями России, Украины, Белоруссии и Узбекистана.

Недостатком информационной системы является не своевременное обновление, что приводит к проблемам при работе с бухгалтерской отчетностью. Лицензия довольно дорогостоящая, что не всем пользователям подходит.

Информационная система Audit Expert является разработкой фирмы «ПРО-ИНВЕСТ Консалтинг». [2].

2. Информационная система Project Expert

Project Expert представляет собой аналитическую систему, которая позволяет проанализировать различные варианты развития проекта, определить потребность предприятия в денежных средствах, определить оптимальную схему финансирования и условия кредитования. Система формирует таблицы финансовых показателей, а именно показатели рентабельности, показатели ликвидности, показатели финансовой устойчивости и платежеспособности.

В результате вычислений система выводит таблицы и графики, которые отражают движение материальных ресурсов и денежных потоков за весь период времени, определенный и заданный пользователем.

Рассматриваемая система является полностью закрытым программным продуктом, т.е. алгоритмы расчетов не доступны для просмотра и их нельзя изменить. В случае, добавления необходимых расчетов необходимо обращаться к специалистам фирмы, разработавшей данное программное обеспечение. В Project Expert возможно работать при наличии у пользователя специального ключа - пароля.

Так вся работа в информационной системе состоит из двух этапов. Первый этап заключается в вводе данных, а второй этап состоит из модуля расчета показателей. Следует отметить тот факт, что пользователь, не имеющий специального ключа может выполнить первый этап, второй этап ему будет недоступен.

Информационная система Project Expert является разработкой фирмы «ПРО-ИНВЕСТ Консалтинг» [3]. Недостатком системы является то, что работать с данной системой возможно только при наличии специального ключа (пароля).

3. Информационная система Альт-Финансы

Система Альт-Финансы представляет собой систему комплексного анализа финансового состояния предприятия. Данная система используется для оценки деятельности организации, выявления основных тенденций развития, оценки кредитоспособности предприятия [2]. Также в данной системе можно рассчитать финансовые показатели, которые характеризуют ликвидность, платежеспособность, рентабельность, финансовую устойчивость, оборачиваемость. При работе в системе Альт-Финансы пользователь может проводить расчеты на основании как новых, так и старых форм бухгалтерской отчетности.

Система Альт-Финансы использует следующие методы для анализа [4]:

горизонтальный (временный, динамический) анализ;

вертикальный анализ;

сравнительный анализ.

Рассматриваемая система является открытым программным продуктом, т.е. алгоритмы всех расчетов доступны для просмотра, также возможно, чтобы пользователь вносил изменения в определенные таблицы для расчета дополнительных финансовых показателей.

Система Альт-Финансы позволяет установить режим защиты для формул, с помощью которых рассчитываются финансовые показатели. При установке специализированной версии возможно проводить финансовый анализ по формам бухгалтерской отчетности стран Украины и Белоруссии.

Рассматриваемая система довольно часто используется для проведения анализа финансового состояния предприятия по программе кредитования малого и среднего бизнеса.

Недостатки системы заключаются в том, что хоть Альт-Финансы являются открытым программным продуктом, просмотреть проводимые расчеты невозможно, также для ее использования необходимо приобретать лицензию.

4. Информационная система «ФинЭкАнализ»

Информационная система «ФинЭкАнализ» предоставляет возможность оценивать финансовое состояние предприятия по разным категориям факторов, например по деловой активности, финансовой устойчивости, рентабельности, платежеспособности, ликвидности. Также система позволяет произвести расчеты финансовых показателей, которые характеризуют состояние банкротства.

Система «ФинЭкАнализ» на основании форм бухгалтерской отчетности формирует аналитические таблицы и графики, в которых отображаются результаты финансовой деятельности предприятия.

Среди недостатков системы можно отметить то, что работать с полным набором коэффициентов и специализированных методов, возможно только при наличии специального ключа. Для проведения полного финансового анализа предприятия требуется ее приобретение, т.к. существующие демо-версии не способны рассчитать большое количество финансовых показателей и проанализировать состояние предприятия по большинству существующих алгоритмов.

5. Информационная система «ИНЭК-АФСР»

Информационная система «ИНЭК-АФСР» разрабатывалась для анализа финансового состояния предприятий, мониторинга хозяйствующих субъектов, оценки возможности кредитоспособности на основании данных бухгалтерской отчетности.

Недостатки рассматриваемой системы заключаются в том, что она является полностью закрытым программным продуктом, т.е. алгоритмы расчетов не доступны для просмотра и их нельзя изменить. Добавление формул для расчета дополнительных финансовых показателей невозможно. В «ИНЭК-АФСР» возможно работать при наличии у пользователя специального защитного ключа - пароля.

Существенным плюсом системы является то, что с помощью нее можно проводить анализ финансового состояния по форма бухгалтерской отчетности, начиная с 1995 года [4].

Система «ИНЭК-АФСР» является программным продуктом фирмы серии «Аналитик» фирмы «ИНЭК».

В результате изучения существующих информационных систем, заметим, что помимо положительных особенностей, системы имеют достаточно недостатков. Поэтому и предполагается разработать информационную систему, пользователи которой не будут встречаться с недостатками, которые существуют у нынешних систем.

Библиографический список

1. Ивасенко А.Г., Гридасов А.Ю., Павленко В.А. Информационные системы и технологии в экономике и управлении – М.: КноРус, 2007. – 160 с.
2. Титоренко Г.А. Информационные системы в экономике. – М.: ЮНИТИ, 2007. – 463 с
3. Шелобаев С.И., Арсеньев Ю.Н., Давыдова Т.Ю. Информационные системы и технологии. Экономика. Управление. Бизнес. Издательство: Юнити-Дана, 2006 г. С. 448 стр.
4. Прокопьев А.Н. Анализ финансового состояния организации с применением компьютерных информационных систем // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 9. Ч. 1 [Электронный ресурс].

УДК 004.33, ГРНТИ 20.15

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

А. Кабулов

*Ташкентский Филиал «Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова»,
Узбекистан, Ташкент, kabulov51@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с обеспечением информационной безопасности государства, конституционных прав и свобод человека и гражданина в области получения информации, пользования ею в целях защиты конституционного строя, суверенитета и территориальной целостности. Говорится о том, что развитие сферы информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) рассматривается как одно из приоритетных направлений государственной политики и модернизации экономики Узбекистана.

Ключевые слова. Информационная безопасность, компьютерные системы, «киберпреступность», «кибербезопасность», «киберугрозы», интернет-ресурсов, информационно-коммуникационные системы.

IMPROVEMENT OF INFORMATION SECURITY SYSTEM IN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

A. Kabulov

*Tashkent Branch of Russian Economic University after G.V. Plekhanov",
Uzbekistan, Tashkent, kabulov51@mail.ru*

Abstract. In the article there considered issues related to ensuring information security of the state, constitutional rights and freedoms of a person and citizen in the sphere of obtaining information, using it to protect constitutional order, sovereignty and territorial integrity. It is said that development of information and communication technologies (ICT) is regarded as one of priority direction of state policy and modernization of economy of Uzbekistan.

Keywords. Information security, computer systems, "cybercrime", "cyber security", "cyber threats", Internet resources, information and communication systems.

Узбекистан продолжает идти по пути коренного повышения эффективности проводимых реформ, создания условий для обеспечения всестороннего и ускоренного развития государства и общества, реализации приоритетных направлений по модернизации и либерализации всех сфер жизни [6, с. 67].

2018 год объявлен в Узбекистане годом активного предпринимательства, инновационных идей и технологий, и, в своем Послании Олий Мажлису, Президент Республики Узбе-

кистан Шавкат Мирзиёев, сказал: «Понятие «активное предпринимательство» - это такое направление в экономике, когда бизнес-деятельность организуется на основе инновационных, современных подходов, передовых технологий и методов управления [2, с. 1].

В Указе Президента Республики Узбекистан «О стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан, в 2017–2021 годах», в частности говорится, о приоритетных направлениях в сфере обеспечения безопасности, религиозной толерантности и межнационального согласия, и один в одном из пунктов, говорится [1, с. 2]:

- совершенствование системы обеспечения информационной безопасности и защиты информации, своевременное и адекватное противодействие угрозам в информационной сфере.

За последние годы в Узбекистане ускоренными темпами развивается информационно-коммуникационные технологии, а также начата реализация комплекса мер по совершенствованию обеспечения информационной безопасности. Об этом, свидетельствуют принятые Указы и Постановления Президента Республики Узбекистан, Законы Республики Узбекистан, Постановления правительства, руководящие документы Узбекского агентства связи и информатизации, министерств и ведомств, связанные с регулированием различных аспектов в области информационных технологий.

В республике приняты ряд Законов по развитию, совершенствованию и обеспечению информационной безопасности. В Законе Республики Узбекистан «О принципах и гарантиях свободы информации» информационная безопасность приводится как состояние защищенности интересов личности, общества и государства в информационной сфере, а конфиденциальная информация означает документированная информация, доступ к которой ограничивается в соответствии с законодательством.

Процветание, безопасность и улучшение благосостояния народа в качестве долгосрочного приоритета определена национальная безопасность, одной из составляющих которой является информационная безопасность.

Динамика развития информационных технологий в социально-экономической и культурной жизни общества и государства предъявляет повышенные требования к решению вопросов информационной безопасности.

Обеспечение информационной безопасности государства требует использования комплексного подхода, включающего организационные, технические, программные, социальные механизмы, способные реализовать конституционные права и свободы человека и гражданина в области получения информации, пользования ею в целях защиты конституционного строя, суверенитета и территориальной целостности Республики Узбекистан, политической, экономической и социальной стабильности, законности и правопорядка, развития взаимовыгодного международного сотрудничества в области информационной безопасности [4, с. 54].

Одной из важнейших задач в нынешних условиях глобализации и века «информационных войн» является обеспечение кибербезопасности нашей страны. Сегодня киберугрозы приобрели глобальный характер. Стратегией действий предусмотрена разработка нормативно-правовых актов, направленных на отражение киберугроз, обеспечение безопасности в этой сфере. Все это будет способствовать укреплению мира и согласия, стабильности в нашей стране, обеспечению безопасности личности, общества и государства.

В результате широкого внедрения в стране информационно-коммуникационных технологий все больше организаций и учреждений Узбекистана создают собственные веб-сайты и автоматизированные базы данных, растут масштабы компьютеризации, внедряются современные мобильные и сетевые технологии. Это создает необходимость обеспечения конфиденциальности данных, предотвращения их утечки и пресечения несанкционированного доступа к ценной информации [6, с. 67].

На рисунке 1 представлена схема Государственной информационной политики (ГИП) Республики Узбекистан.

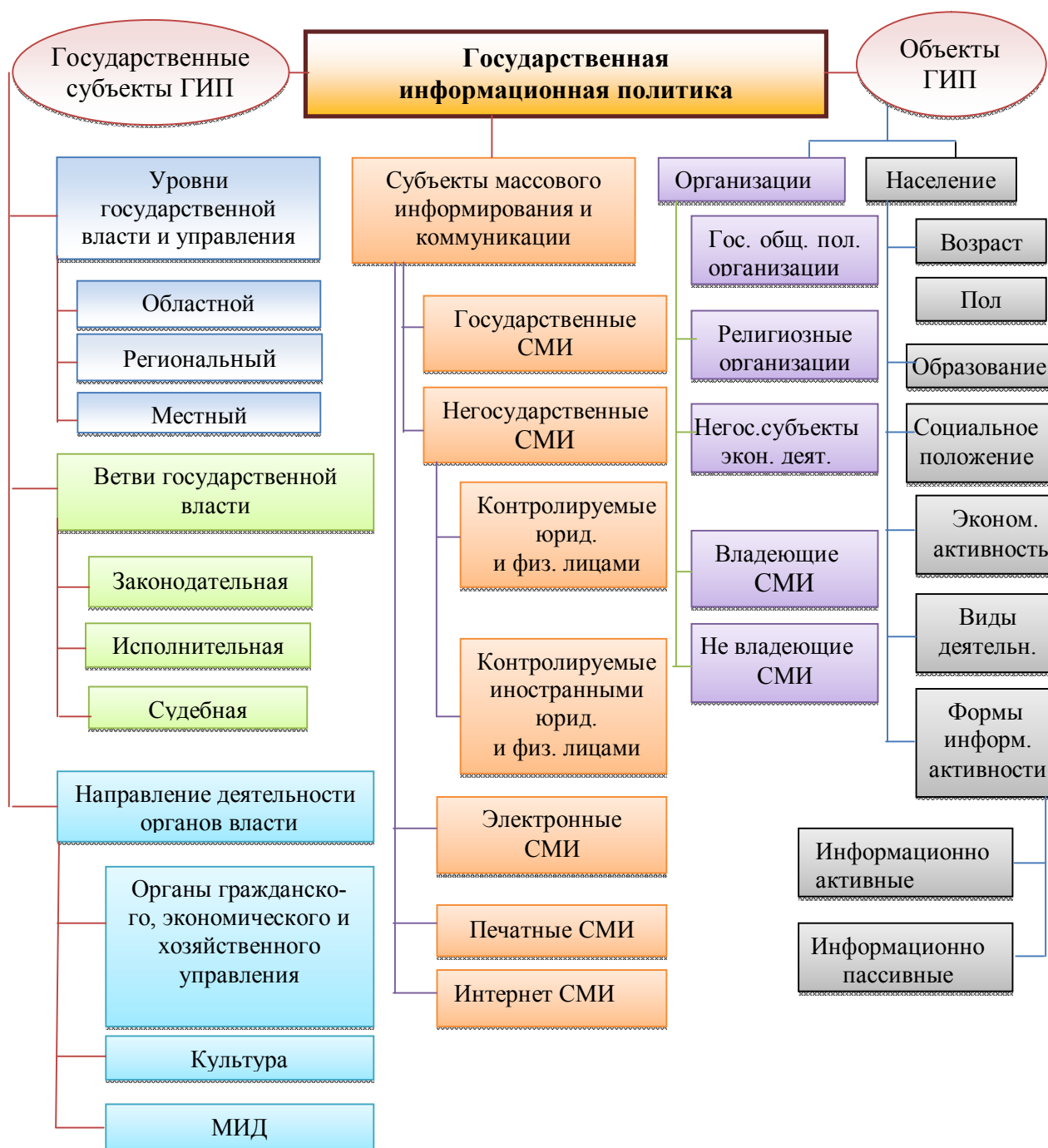


Рис. 1. Система государственной информационной политики

Из схемы видно, что системой охвачены все структуры, которые обмениваются необходимой информацией. В последнее десятилетие проблема защиты информации в связи с расширением информатизации и компьютеризации стала действительно острой.

Защита от информации состоит в применении определенных методов и средств защиты от негативного влияния на составляющие какой-либо системы информации, как внутренней, так и поступающей из вне, а также от негативного воздействия информации, выходящей

из рассматриваемой системы, на внешнюю среду. На рисунке 2 представлены основные методы защиты информации [4, с. 25].

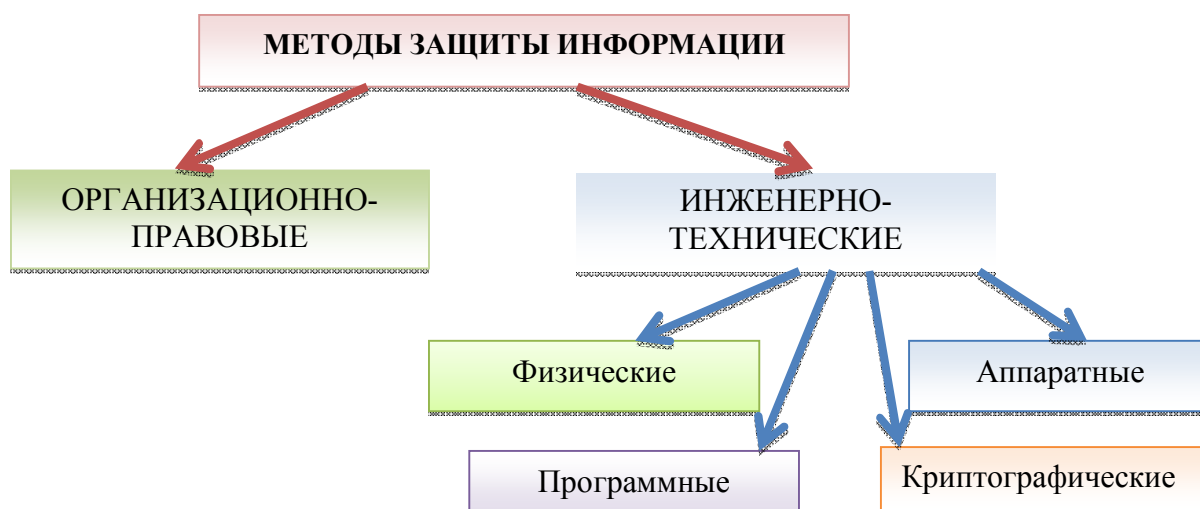


Рис. 2. Классификация методов защиты информации в компьютерных системах

Современный термин «киберпреступность» в настоящее время объединяет множество видов преступлений в сфере информационно-коммуникационных технологий. Среди них:

- разработка и распространение вредоносных программ, противоправной информации, массовая рассылка электронных писем (спам),
- хакерские атаки и взлом веб-сайтов;
- мошенничество;
- нарушение авторских прав;
- кража номеров кредитных карточек и банковских реквизитов, а также еще целый ряд различных правонарушений.

Во всех этих случаях преступники ставят перед собой задачу нанести материальный и моральный ущерб объектам своего интереса.

Для предотвращения этих и других информационных угроз необходимо использовать средства обеспечения информационной безопасности (см. рис. 3) [4, с. 16].

Республика Узбекистан активно включилась в международные информационно-коммуникационные процессы.

Развитие сферы ИКТ рассматривается как одно из приоритетных направлений государственной политики и модернизации экономики Узбекистана.

Принят ряд законов и постановлений Кабинета Министров Республики Узбекистан, в соответствии с которыми развивается и совершенствуется информационно-коммуникационная сфера, регламентируются отношения между субъектами этого рынка. В них предусматриваются и вопросы обеспечения информационной безопасности.



Рис. 3. Средства обеспечения информационной безопасности

В соответствии с Законом «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Узбекистан в связи с усилением ответственности за совершение незаконных действий в области информатизации и передачи данных» от 25 декабря 2007 года Уголовный кодекс дополнен главой 20 «Преступления в сфере информационных технологий». В ней определены меры наказания за нарушение правил информатизации, незаконный (несанкционированный) доступ к компьютерной информации, компьютерный саботаж, создание, использование или распространение вредоносных программ, ряд других деяний.

Кроме того, в Уголовном кодексе предусмотрена ответственность за хищение путем присвоения и растраты средств с использованием компьютерной техники, кража, совершенная путем несанкционированного проникновения в компьютерную систему, незаконный сбор, разглашение или использование информации.

Создание надежной нормативно-правовой базы для защиты от киберпреступности – это веление времени. С учетом возрастающей роли Интернета все чаще возникает необходимость защиты прав и свобод человека и общества от информации, пропагандирующей насилие и жестокость, от навязывания ложной и недостоверной информации, целенаправленного формирования негативного мировоззрения молодого поколения.

Борьба с киберпреступностью – это целый комплекс мер, которые осуществляются во взаимодействии правоохранительных органов, Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан и различных зарубежных ведомств, с которыми у нашей страны имеются соглашения в области информационной безопасности.

В 2016 году между Министерством по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан и правоохранительными органами страны подписан и введен в действие Регламент по части анализа, идентификации нарушителей, методов и средств, используемых при проведении несанкционированных либо деструктивных действий в информационном пространстве. Это позволило сформировать эффективный механизм взаимодействия между министерством и правоохранительными органами страны. В настоящее время специалисты проводят совместную работу по выявлению фактов различных правонарушений в области информатизации, неправомерных действий, совершаемых с использованием интернет-ресурсов, в частности, через социальные сети и сервисы обмена сообщениями [5, с. 13].

Для усиления борьбы с киберпреступностью при Генеральной прокуратуре Республики Узбекистан создан новый департамент. Одной из его задач является повышение профессионального уровня сотрудников правоохранительных органов при проведении расследований преступлений, связанных с использованием современных информационно-коммуникационных технологий.

Совместные действия заинтересованных министерств и ведомств нацелены не только на защиту от киберпреступности и несанкционированного доступа, но и на ее профилактику. Для этого реализуется множество проектов, специалисты Центра обеспечения информационной безопасности и сотрудники правоохранительных органов выступают в СМИ с разъяснениями по проблемам неправомерного использования тех возможностей, которые сегодня предоставляют современные информационно-коммуникационные технологии.

Несанкционированный доступ – это противоправное преднамеренное овладение конфиденциальной информацией лицом, не имеющим права доступа к охраняемым секретам. Несанкционированный доступ к источникам конфиденциальной информации реализуется различными способами: от инициативного сотрудничества, выражающегося в активном стремлении "продать" секреты, до использования различных средств проникновения к коммерческим секретам. Для реализации этих действий злоумышленнику приходится часто проникать на объект или создавать вблизи него специальные посты контроля и наблюдения – стационарных или в подвижном варианте, оборудованных самыми современными техническими средствами. Если исходить из комплексного подхода к обеспечению информационной безопасности, то такое деление ориентирует на защиту информации как от разглашения, так и от утечки по техническим каналам и от несанкционированного доступа к ней со стороны конкурентов и злоумышленников. Такой подход к классификации действий, способствующих неправомерному овладению конфиденциальной информацией, показывает многогранность угроз и многоаспектность защитных мероприятий, необходимых для обеспечения комплексной информационной безопасности.

С учетом изложенного остается рассмотреть вопрос, какие условия способствуют неправомерному овладению конфиденциальной информацией (см. рис. 4).

Для предупреждения и оперативного выявления фактов несанкционированного вмешательства в работу веб-сайтов государственных органов Центром обеспечения информационной безопасности в декабре 2014 года внедрена система оповещения и предотвращения проникновения в информационные ресурсы, которая работает с официальными веб-сайтами госорганов [5, 13].

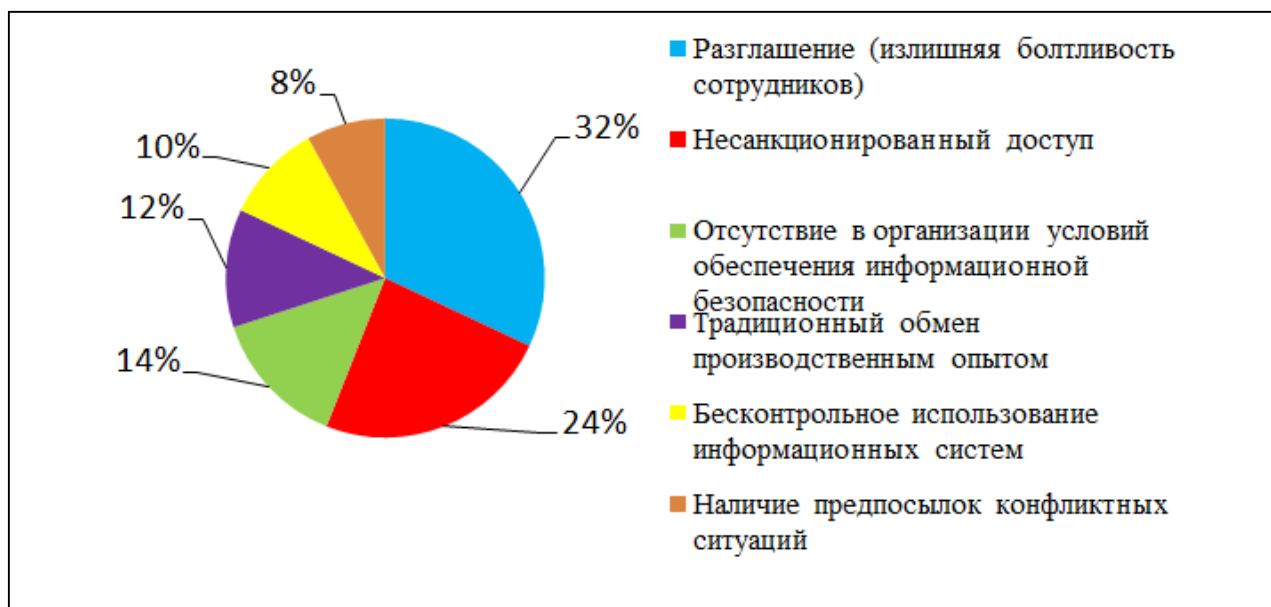


Рис. 4. Условия, способствующие неправомерному овладению конфиденциальной информацией

В 2017 году с ее помощью выявлено 132 факта нарушений в работе официальных веб-сайтов госорганов. Эти нарушения связаны с обновлением веб-сайтов и проведением профилактических работ, истечением срока аренды доменного имени и хостинговой площадки, с техническими неисправностями, и только четыре случая касались кибер атак на веб-сайты. Проведена работа по их устранению [4, с. 28].

Центр обеспечения информационной безопасности при Министерстве по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан осуществляет идентификацию нарушителей, методов и средств, используемых при проведении несанкционированных либо деструктивных действий в информационном пространстве. При разработке политики безопасности они рекомендуется использовать модель, основанную на адаптации общих критериев и проведении анализа риска. Эта модель соответствует специальным нормативным документам по обеспечению информационной безопасности (см. рис. 5).

Для обеспечения информационной безопасности национального сегмента сети интернет в декабре 2015 года центр запустил систему обнаружения инцидентов на информационных ресурсах доменной зоны "UZ". Она способствует своевременному выявлению и реагированию на внедрение вредоносного кода и обнаружению несанкционированного изменения главной страницы веб-ресурсов. Это позволило снизить ущерб, наносимый владельцу информационного ресурса и пользователям национального сегмента сети интернет. Система в первую очередь предназначена для обеспечения информационной безопасности веб-сайтов доменной зоны "UZ". В базу данных входит более 29 тысяч веб-сайтов, список которых постоянно обновляется [5, с. 12].

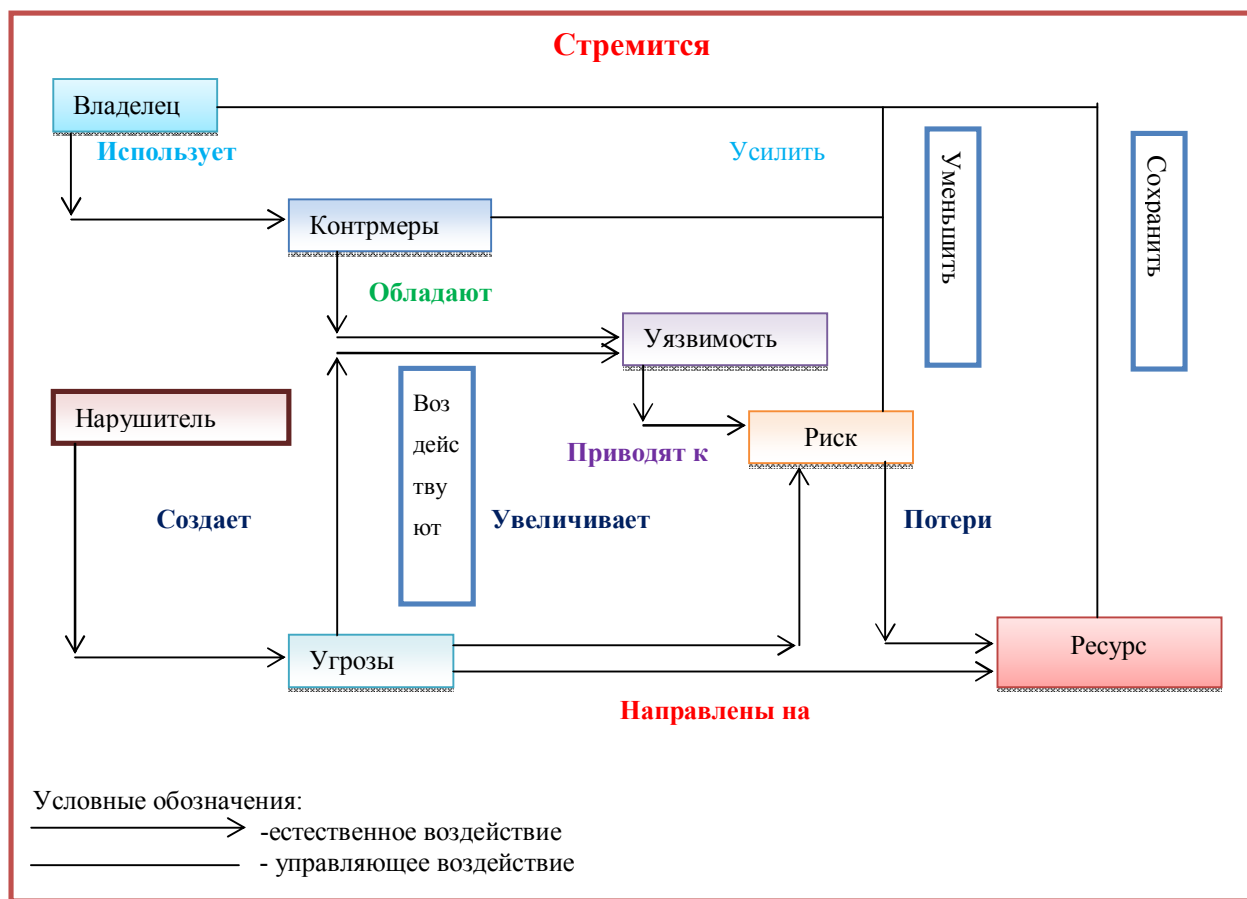


Рис. 5. Модель построения корпоративной системы защиты информации

С учетом положений Центра обеспечения информационной безопасности при Министерстве по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан в настоящее время национальные интересы Республики Узбекистан в информационной сфере на долгосрочную перспективу представлены на рисунке 6.

Необходимо отметить, что в настоящее время центром достигнуты определенные успехи в установлении тесного сотрудничества с владельцами наиболее важных информационных систем страны и ресурсов национального домена "UZ". Работа по совершенствованию порядка взаимодействия между Министерством по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан и органами государственного и хозяйственного управления для поддержания информационной безопасности продолжается.

Согласно данным автоматизированной системы "NIS.UZ" общее количество веб-сайтов, принадлежащих государственным организациям и учреждениям, достигло 114, структурными подразделениями различных министерств и ведомств администрируется порядка 642 электронных ресурсов. Количество используемых ими информационных систем достигает 768. Примечательно, что подавляющее большинство госорганов для защиты своих систем и ресурсов использует только лицензированные антивирусные программы, системы выявления и предотвращения несанкционированного вторжения и утечки информации.



Рис. 6. Схема предполагаемого содержания национальных интересов Республики Узбекистан в информационной сфере

Центром обеспечения информационной безопасности страны за 2017 год выявлено и пресечено более 200 случаев несанкционированного доступа к информации, оперативно обнаружен и устранен 72 случая незаконного изменения главной страницы ресурсов госорганов, устранены 15 угроз, связанных с рассылкой спам-сообщений и фишингом.

Установлены наиболее часто встречающиеся причины взломов веб-сайтов домена "UZ". В большинстве случаев это слабая парольная защита администраторских учетных записей, использование устаревших версий шаблонизаторов без возможности обновлений и установки дополнительно разработанных файлов исправления, отсутствие антивирусных средств мониторинга файловых систем сайтов на предмет выявления подозрительного или вирусного контента, наличие у владельцев веб-сайтов ограниченных администраторских прав, позволяющих производить исключительно им изменения в контенте.

В виртуальном мире пользователей, в том числе и представителей молодого поколения, могут поджидать определенные опасности. Специалисты по информационной безопасности выделили основные их типы. В частности, это сайты с нежелательным контентом, включающим сцены жестокости, насилия, безнравственности и аморального поведения. Вред может причинить даже "безобидное" общение, переписка в сети с незнакомыми или мало знакомыми людьми. Так называемое "анонимное общение" уже давно используется для психологического давления, унижений и домогательств, которые потом достаточно сложно доказать.

Неосторожное посещение сомнительных ресурсов может грозить потерей персональных данных. В большинстве случаев это происходит из-за излишней доверчивости и открытости пользователей при заполнении анкет, совершении онлайн-покупок, регистрации в социальных сетях. Переход по незнакомым ссылкам, скачивание программ, фильмов и музыки с неизвестных сайтов, чтение писем от непонятных «друзей» могут привести к заражению компьютера вирусами.

Совсем недавно специалисты по информационной безопасности обнаружили программу-вымогатель. Вирус шантажирует пользователя, зашифровав ценную для него информацию и требуя для расшифровки деньги, так называемые биткойны. Владельца кошелька -

получателя средств - отследить крайне сложно, а то и невозможно. Такой тип программ, используемых для персональных компьютеров, был переписан и для мобильных телефонов. К сожалению, количество подобных угроз растет такими темпами, что даже современные антивирусные гиганты, такие как «Лаборатория Касперского» и «ESET», не успевают предоставить своим клиентам средства защиты. Поэтому главным средством защиты остается бдительность.

Считается, что чем сложнее «начинка» телефона, тем больше шансов подхватить вирус. Основной путь проникновения вируса - Интернет. Вредоносная программа может попасть в телефон также и при подключении к компьютеру через USB-порт. Для заражения достаточно запустить инфицированное приложение, полученное по электронной почте, ссылку в MMS или открыть небезопасный сайт. То же самое может произойти при загрузке приложений из «Google Play» или «App Store».

Существуют программы, способные опустошить счет пользователя. Заразив сотовый телефон, они начинают рассылать мобильный трафик на посторонние ресурсы. При этом сам трафик может содержать информацию, с которой вы предпочли бы не делиться с неизвестными лицами - ваши пароли, переписку, файлы из памяти ваших устройств. Отдельно стоит сказать о программах-вымогателях. Нам уже приходилось сталкиваться со случаями, когда телефоны наших соотечественников были заблокированы неким баннером на весь экран с требованием выплаты денежных средств за разблокирование устройства.

Мировое сообщество экспертов в области информационной безопасности прогнозирует, что программы-вымогатели, причем не только для владельцев мобильных устройств, но и для всех пользователей сети интернет, могут стать угрозой номер один в будущем.

Благодаря совместным усилиям Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан и правоохранительных органов налажена работа по своевременному реагированию на подобные инциденты, есть опыт изучения таких программ и выявления их разработчиков.

С таким явлением, как киберпреступность, можно и нужно бороться, поскольку оно представляет реальную угрозу для современного общества. Поэтому в Узбекистане принимаются действенные меры по профилактике и предотвращению всех видов киберпреступлений.

В результате широкого внедрения в стране информационно-коммуникационных технологий все больше организаций и учреждений Узбекистана создают собственные веб-сайты и автоматизированные базы данных, растут масштабы компьютеризации, внедряются современные мобильные и сетевые технологии. Это создает необходимость обеспечения конфиденциальности данных, предотвращения их утечки и пресечения несанкционированного доступа к ценной информации.

Библиографический список

1. Указ Президента Республики Узбекистан «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан. Газета «Народное слово». 8 февраля 2017 г.
2. Послание Президент Республики Узбекистан Шавката Мирзиёева Олий Мажлису. Народное слово. 23 декабря 2017 г.
3. Статистические данные. – Режим доступа: <http://www.securitylab.ru/analytics/417176.php>
4. Материалы Центра обеспечения информационной безопасности при Министерстве по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан. 2017. – 97 с.
5. Интервью директора Центра обеспечения информационной безопасности при Министерстве по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан Рахматуллаева З. для УзА. 2017. – 15 с.
6. Кабулов А.А. “Внедрение информационно-коммуникационных технологий в высшее образование”. Актуальные вопросы модернизации: экономика, образование, управление и право. – Н. Новгород, 2015. – С. 67-69.

УДК 681.3.01+311

ПРИМЕНЕНИЕ BIG DATA В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СФЕРЕ**Н.Б. Тула***Ташкентский Государственный экономический университет,
Республика Узбекистан, Ташкент, nodir_bek1990@mail.ru*

Аннотация. В данной работе описана сущность и понятие Big Data. Область ее применения и принципы работы. Рассматриваются основные преимущества использования Big Data. Приведены примеры применения технологии Big Data в спорте, политике, медицине, финансовой бирже, науке и т.д. В конце статьи приводятся выводы и рекомендации по использованию данной технологии.

Ключевые слова. Big data, данные, оптимизация, программы, анализ.

APPLICATION OF BIG DATA IN THE SOCIO-ECONOMIC SPHERE**N.B. Tula***Tashkent State University of Economics,
Republic of Uzbekistan, Tashkent, nodir_bek1990@mail.ru*

Annotation. In this paper, we describe the essence and concept of Big Data. Area of its application and principles of work. The main advantages of using Big Data are considered. Examples of application of Big Data technology in sports, politics, medicine, financial exchange, science, etc. are given. At the end of the article, conclusions and recommendations on the use of this technology are given.

Keywords. Big data, data, optimization, programs, analysis.

Введение

Big data - это набор данных, которые настолько объемны и сложны, что традиционные прикладные программы обработки данных непригодны для их обработки. Наибольшие трудности возникают при сборе, хранении, анализе, поиске, обмене и обеспечении конфиденциальности информации.

Хотя термин «Big data» является относительно новым, сбор и хранение большого количества информации для последующего анализа существует довольно долго. Концепция Big data набирала обороты в начале 2000-х годов, когда аналитик компании Doug Laney сформулировал основное определение больших данных в качестве трех элементов:

Объем. Организации собирают данные из различных источников, включая бизнес-транзакции, социальные сети и информацию из данных датчиков или машин. Раньше сохранение было бы проблемой, но новые технологии облегчили этот процесс.

Скорость. Потоки данных должны анализироваться и решаться на высокой скорости. RFID-метки, датчики и интеллектуальный учет приводят к необходимости обрабатывать потоки данных в почти реальном времени.

Разнообразие. Данные поступают во все типы форматов: от структурированных, числовых данных в традиционных базах данных до неструктурированных текстовых документов, электронной почты, видео, аудио, данных биржевых котировок и финансовых транзакций.

Принципы работы и использование Big data

Ориентированность на лучшее понимание клиентов - одна из самых больших и наиболее популярных областей использования больших данных сегодня. Big data используются для лучшего понимания клиентов их поведения и предпочтений. Компании стремятся расширить свои базы данных с помощью данных социальных сетей, журналов браузера, а также текстовой аналитики и данных датчиков, чтобы получить более полную информацию о своих клиентах. Главная цель, во многих случаях, заключается в создании прогностических моделей.

Горнолыжные курорты также используют данные для понимания и ориентации своих посетителей. RFID-метки, вставленные в лифтовые билеты, могут сократить время ожидания на лифтах и избежать мошенничества, помогают понять и регулировать движение посетителей, а также отслеживать местонахождение человека если он погибнет.

Представьте, что вы бюджетный лыжник и получаете индивидуальные приглашения от вашего любимого курорта, когда проводятся акции, а также дают вам знать, когда время ожидания лифта самое короткое. Могут быть созданы веб-сайты и приложения, в которых будет отображаться статистика движения человека в день, от того, сколько человек пробежал до того, сколько вертикальных метров он прошел, и затем он может поделиться ими в социальных сетях или использовать их для соревнования с членами семьи или друзьями.

Даже правительственные избирательные кампании могут быть оптимизированы с использованием аналитики Big data. Некоторые считают, что победа Обамы после предвыборной кампании 2012 года была обусловлена превосходной способностью его команды использовать большую аналитику данных.[1]

Big data все чаще используются для оптимизации бизнес-процессов. Розничные торговцы могут оптимизировать свои акции на основе прогнозов, полученных из данных социальных сетей, тенденций веб-поиска и прогнозов погоды. Одним из примеров совершенствования бизнес-процессов, который использует Big data, является оптимизация цепочки поставок или доставки. Здесь датчики географического позиционирования и радиочастотной идентификации используются для отслеживания товаров или транспортных средств доставки и оптимизации маршрутов путем интеграции данных в режиме реального времени. Кроме того, работа HR-менеджеров также упрощается с использованием Big data. Например, компания Sociometric Solutions помещает датчики в значки служащих, которые могут определять социальную динамику на рабочем месте. Датчики сообщают о том, как сотрудники перемещаются по месту работы, с кем они говорят, и даже тон голоса, который они используют при общении. Один из менеджеров компании Bank of America заметил, что некоторые его высокопоставленные сотрудники в call-центрах часто брали перерывы. Они установили политику Group GAP, в которой предусматривается материальное поощрение работников в виде оплаты дополнительных расходов по медицинскому страхованию, и после этого производительность улучшилась на 23 процента. [5]

Все большую популярность приобретают метки-RFID, которые можно прикрепить к таким вещам, как телефон, ключи или очки, которые затем помогут легко найти эти вещи, если они потеряются. Но предположим, что мы сможем перенести эту технологию на новый уровень и создать умные ярлыки, которые могли бы использовать практически все. Кроме того, они могут рассказать нам гораздо больше, чем то, что есть; они могут рассказать нам о своей температуре, уровне влажности, независимо от того, движется она или нет, и многое другое. Это открывает совершенно новое царство «маленьких данных» или «Small data»; если Big data рассматривает огромное количество информации и анализируют ее по шаблонам, то Small data - это просмотр данных для отдельного продукта - например, контейнер с йогуртом в отгрузке - и возможность узнать, будет ли он годен, когда появится на прилавках магазинов.

Big data предназначена не только для компаний и правительств, но и для всех простых людей. Любой пользователь может использовать данные, полученные от носимых устройств, таких как смарт-часы или смарт-браслеты. К примеру, возьмем Up от Jawbone, эта повязка собирает данные о нашем потреблении калорий, уровнях активности и моделях сна. Хотя это дает людям интересные идеи, реальная ценность заключается в анализе коллективных данных. В случае с Jawbone компания теперь собирает 60-дневную информацию о снах каждую ночь. Анализ таких объемов данных принесет совершенно новые идеи, которые он может

вернуть отдельным пользователям. Другая область Big data, используемая обычными людьми – это сайты знакомств. Большинство интернет-сайтов знакомств используют множество инструментов и алгоритмов для поиска наиболее подходящих по характеру людей. [2]

Big data может также использоваться в геномной инженерии и медицине. Вычислительная мощность Big data позволяет декодировать целые ДНК-строки за считанные минуты и позволяет находить новые лекарства и лучше понимать и прогнозировать картины заболеваний. В будущем все индивидуальные данные от умных часов и носимых устройств могут быть использованы для лечения различных заболеваний. [4]

Big data уже используется для наблюдения за младенцами в некоторых специализированных клиниках США для наблюдения за больными и слабыми младенцами. Записывая и анализируя каждое сердцебиение и дыхательный образ каждого ребенка, эти клиники смогли разработать алгоритмы, которые теперь могут предсказывать инфекции за 24 часа до появления каких-либо физических симптомов. Таким образом, команда может вмешаться рано и спасти хрупких детей там, где каждый час может стать последним. Более того, она позволяет отслеживать и прогнозировать развитие эпидемий и вспышек заболеваний. Интеграция данных из медицинских записей с помощью аналитики в социальных сетях позволяет отслеживать вспышки гриппа в режиме реального времени, просто анализируя, то чем интересуются люди. Несмотря на то, что в прошлом у Google была возможность прогнозировать вспышки гриппа на основе поискового трафика, их модель не работала до 2014 года. Сам Google признает, что только потому, что человек ищет «симптомы гриппа», это не значит, он болен. [2]

Большинство элитных видов спорта сегодня используют Big data. Существует инструмент IBM SlamTracker, в нем используют видеоаналитику, которая отслеживает производительность каждого игрока в футбольной или бейсбольной игре, а сенсорная технология в спортивном оборудовании, таком как баскетбольные мячи или гольф-клубы, позволяет получать обратную связь (через смартфоны и облачные серверы). Многие элитные спортивные команды также отслеживают спортсменов за пределами спортивной среды - используя умные технологии через общение в социальных сетях, для отслеживания питания и сна, а также мониторинга эмоционального благополучия.

Наука и исследования в настоящее время также трансформируются под влиянием новых возможностей, которые приносит Big data. Вычислительная мощность данной системы также может быть использована при любом анализе данных, открывая новые горизонты для ученых. Исследователи собирают данные переписи и другие собранные правительством данные, и анализируют их для создания более ясной картины в социально-экономической сфере. [3]

Самой востребованной средой для Big data, является финансовые торговые площадки. Высокочастотная торговля - это область, где Big data сегодня пользуются большим спросом. Здесь для принятия торговых решений используются алгоритмы больших данных. Сегодня почти 80% торговли акциями, осуществляется с помощью алгоритмов данных, которые все чаще учитывают сигналы от сетей социальных сетей и новостных веб-сайтов, чтобы принимать решения, покупать и продавать в течение нескольких секунд. Компьютеры программируются со сложными алгоритмами, которые сканируют рынки для сбора настраиваемых условий и поиска торговых возможностей. Эти программы могут быть разработаны для работы без взаимодействия с человеком или с человеческим взаимодействием в зависимости от потребностей и желаний заказчика. Самые сложные из этих программ теперь также подстраиваются под изменения рынков и используют искусственный интеллект.

Выводы

Big data на наш взгляд сможет улучшить все, от материально-технического снабжения до медицинского обслуживания, и человечество все еще находится на пороге понимания того, что может сделать эта невероятная технология. Мы считаем, что использование компьютерных программ, сейчас находится на таком же уровне, когда электричество использовалось только для питания лампочек.

В каждой вышеперечисленной отрасли будь то спорт, медицина, финансы, наука и т.д., Big data может принести огромную пользу, оптимизируя их деятельность и используя все неиспользованные резервы.

Библиографический список

1. Big Data Analytics: A Literature Review Paper Nada E. and Ahmed E. Advances in Data Mining. Applications and Theoretical Aspects: 14th Industrial Conference, ICDM 2014, St. Petersburg, Russia, July 16-20, 2014. Proceedings (pp.214-227)
2. Viktor Mayer-Schönberger, Kenneth Cukier «Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think» 2013.
3. Bruce Ratner Statistical and Machine-Learning Data Mining: Techniques for Better Predictive Modeling and Analysis of Big Data, Second Edition CRC Press 2011.
4. Arvind Sathi Big Data Analytics: Disruptive Technologies for Changing the Game 2012.
5. Bill Schmarzo Big Data: Understanding How Data Powers Big Business Wiley 2013.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

ТЕХНОЛОГИЯ БЛОКЧЕЙН И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ

И. Федюкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, me@ifedyukin.ru*

Аннотация. В данной работе описан принцип работы относительно новой технологии «блокчейн», рассмотрены существующие проблемы в области распределённых вычислений больших объемов данных и информационной безопасности в области веб-разработки и теоретические способы их решения с применением технологии блокчейн.

Ключевые слова. Блокчейн, распределённые вычисления, информационная безопасность

BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AND ITS USAGE

I. Fedyukin

*Ryazan state radioengineering university,
Russia, Ryazan, me@ifedyukin.ru*

Abstract. In this article, we consider the new technology, "blockchain," examining the existing problems in the distributed computing of BigData and web-development information security and theoretical methods for solving them using blockchain.

Keywords. Blockchain, distributed computing, information security

Введение

Первая ассоциация с блокчейном — биткоин и другие криптовалюты. Однако, блокчейн, как технология, не обязательно связан с ними и абсолютно от них не зависит.

Блокчейн — цепочка блоков, представляющая собой связанный список. Его основные концепции: распределенность, одноранговость и защищенность. Распределенный «реестр» хранит историю всех операций между узлами одноранговой сети в виде блоков информации.

В общем случае каждый блок характеризуется следующими параметрами: индекс, временная отметка, данные, хеш текущего блока, хеш предыдущего блока. Простая схема блокчейна представлена на рисунке 1.

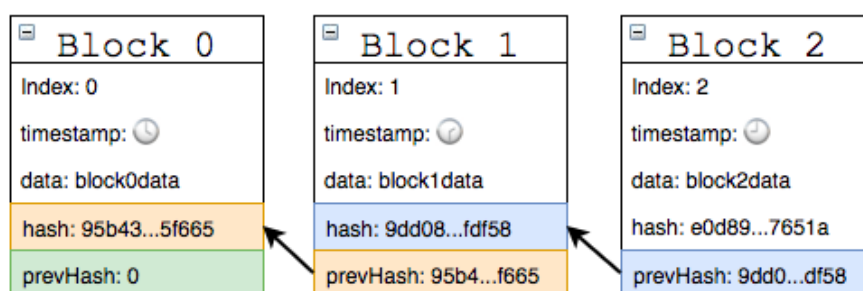


Рис. 1. Схематичное представление блокчейна

Хеши называют результаты хеширования. Хеширование - это преобразование массива входных данных в битовую строку фиксированной длины, выполняемое определённым алгоритмом^[1].

Хеш-функция работает таким образом, что даже незначительные изменения входных данных приведут к значительному изменению хеша. Из-за этого механизма блоки связываются в цепочку с жесткой зависимостью от содержания предыдущего блока.

Система хранит информацию о всех действиях внутри себя и является единственным достоверным источником данных для своих участников, причём информацию нельзя добавить, перезаписать или удалить, не согласовав действия с другими узлами сети. Сам блокчейн при соблюдении этих условий является единственным источником данных для своих участников.

Блокчейн обеспечивает высокую надежность сохранности данных и прозрачность всех действий, в результате чего повышается уровень доверия участников сети друг к другу и к блокчейну.

Наиболее развитые области, в которых применяется технология блокчейн: финансы и налогообложение, проведение прозрачных процессов голосований, криптовалюты. Наиболее перспективны на данном этапе развития технологии областях распределённых вычислений BigData и информационной безопасности.

Применение блокчейна в области распределённых вычислений и BigData

Спрос на вычисления и обработку данных больших объемов постоянно растет как со стороны научного сообщества, так и со стороны бизнеса и частных лиц. На данный момент для решения задач таких объемов используют суперкомпьютеры и серверные кластеры. Устройства подобного рода занимают большие площади, дороги в разработке и обслуживании, являются ограниченным ресурсом и существенно увеличивают издержки.

Число вычислительных устройств в мире с хорошими показателями вычислительных мощностей постоянно растёт, однако «КПД» этих вычислительных мощностей падает. При среднестатистическом использовании персонального компьютера большую часть времени центральный и графический процессоры в лучшем случае используются на 30%.

Неиспользуемые мощности персональных компьютеров, серверов и даже смартфонов могут приносить пользу, производить вычисления и решать какие-то задачи, если использовать давно существующий подход распределённых вычислений.

Распределенные вычисления - способ решения трудоемких вычислительных задач с использованием нескольких компьютеров, чаще всего объединённых в параллельную вычислительную систему^[2].

Проблемой всех существующих систем распределенных вычислений является зависимость от какого-то управляющего центра. Задержки, вызванные особенностями работы сети интернет, большие нагрузки на системы провайдеров и особенности географического расположения узлов являются лишь малой частью проблем, возникающих при обработке

данных, созданных на множестве независимых друг от друга устройств. Решением этой проблемы является предоставление устройствам возможности обмена данными друг с другом в режиме реального времени, что распределит нагрузку. В этом случае остаётся лишь одна крупная проблема - синхронизация и валидация различных узлов. С этой задачей и призван справиться блокчейн.

С помощью блокчейна можно создать огромную распределённую сеть, узлами которой будут устройства. Работу каждого узла можно четко отследить, поэтому в зависимости от предоставленных вычислительных мощностей участнику сети делается выплата. Каждый узел сети будет характеризоваться собственным рейтингом, предоставляемыми для вычислений мощностями и их ценой.

Общий алгоритм работы подобной платформы предельно прост. Сначала контролирующим центром составляется список задач. Участники сети получают доступ к задачам или их частям в соответствии с их вычислительными мощностями и рейтингом. Результат вычислений проходит проверку контролирующим центром или другими участниками сети. Производятся выплаты. Обработанные данные возвращаются заказчику, где проходят дополнительные проверки. В случае успеха исполнителю производится выплата. Происходит переход к следующей задаче. Рейтинг пользователя строится на основе успешности выполнения задач и произведения платежей.

Подобная платформа имеет огромный потенциал для снижения издержек и увеличения производительности в таких областях, как научные исследования, машинное обучение и рендеринг графики в несколько раз.

Можно сделать вывод, что в сфере распределённых вычислений блокчейн имеет очень большое значение и крупные перспективы. Поскольку блокчейн позволяет создать децентрализованную инфраструктуру, она может приблизить данные к их производителям и потребителям, тогда как централизованные облачные вычисления и центры обработки данных, как правило, расположены в отдалённых районах.

Спрос на вычисления будет продолжать расти по мере развития сопутствующих технологий. Будут ли облачные сервисы масштабироваться, чтобы удовлетворить требованиям ресурсов, затрат и скорости, ещё не известно, но блокчейн предлагает выгодную альтернативу, может дать новые возможности и преуспеть в тех случаях, когда существующие технологии уже не смогут предложить ничего интересного.

Применение блокчейна в области информационной безопасности веб-систем

С точки зрения информационной безопасности, блокчейн - это технология, которая помогает шифровать все действия, выполняемые с файлом или объектом, в хеш. Фактически, это не совсем шифрование, но оно не может быть отменено, изменено и или вскрыто простыми способами, в то же время все манипуляции с зашифрованными блоками остаются полностью прозрачными: всегда известно, какие транзакции были выполнены, когда и кем. Такой подход к обеспечению безопасности данных открывает новые возможности в области безопасности веб-приложений.

Недостатком популярных сегодня средств общения (социальных сетей и мессенджеров) является централизация хранимых данных и не всегда надежное сквозное шифрование, используемое ими повсеместно, это ставит под угрозу защищённость данных, с помощью которых часто можно идентифицировать личность человека, отправляющего сообщение, его электронную почту и другие данные.

Блокчейн решает эту проблему, избавляя пользователя от необходимости постоянного использования личных данных для авторизации в системах, а компании от необходимости поиска надежного хранилища и организации его защиты. Все данные будут случайным образом разбиты на небольшие кусочки (чанки) и распределены по пользователям всей системы.

Отдельный пользователь не сможет извлечь из отдельного чанка никакой информации, а злоумышленник не сможет собрать все чанки воедино.

Децентрализация хранилища данных делает провайдеров данных менее уязвимыми для централизованных атак, так же позволят предприятиям обеспечить безопасность коммерческих данных гораздо эффективнее и снизить затраты на хранение информации. В случае внутреннего нарушения протокола блокчейн позволит безошибочно узнать источник опасности и изолировать его.

Блокчейн предоставляет множество возможностей для обнаружения и предотвращения хакерских атак на веб-сайты. Признаки DDoS-атак сохраняются в блоки, и при повторном обнаружении подобных атак доступ злоумышленнику будет ограничен, такой подход уже используют PayPal, Twitter, Spotify и другие крупные компании.

У существующей системы DNS-серверов тоже есть проблемы с защищенностью информации, потому что они хранят ключи доступа в централизованном хранилище и часто почти полностью полагаются на кэширование. Эту проблему можно решить с помощью блокчейна, используя распределенную сеть ключей и ключевых узлов-серверов. В конечном счете, блокчейн защитит серверы от хакерских атак и сделает их практически недоступными для злоумышленников, а также снизит риски отказа в обслуживании в результате высокой нагрузки на централизованный сервер или нарушения целостности кеша.

Блокчейн - самое перспективное изобретение в области кибербезопасности последнего десятилетия. Вероятно, это произведет революцию существующих систем кибербезопасности, обеспечит гораздо более безопасный интернет на долгие годы и, в любом случае, запустит новый цикл эволюции индустрии.

Библиографический список

1. Хеширование – Википедия [Электронный ресурс] // Википедия – Свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хеширование> (дата обращения 10.02.2018)
2. Распределённые вычисления – Википедия [Электронный ресурс] // Википедия – Свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Распределённые_вычисления (дата обращения 10.02.2018)

УДК 004.33, ГРНТИ 20.15

АНАЛИЗ РЫНКА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА АНТИКРИЗИСНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ

С. Ячменцева, В. Семенова, Е. Смирнов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, svetlana.yachmenceva@yandex.ru*

Аннотация. Данная статья знакомит нас с информационными системами обоснования выбора антикризисных мероприятий на предприятии, которые востребованы на рынке программного обеспечения. В ней был проведен сравнительный анализ разрабатываемой информационной системы с существующими системами, а также выявлены недостатки систем осуществляющих антикризисное управление.

Ключевые слова. Информационная система, антикризисное управление.

ANALYSIS OF THE MARKET OF INFORMATIONAL SYSTEMS OF THE SUBSTANTIATION OF THE ELECTION OF ANTI-CRISIS PROGRAMS AT THE ENTERPRISE

S. Yachmenceva, S. Semenova, E. Smirnov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazn, svetlana.yachmenceva@yandex.ru*

Annotation. This article introduces us to the information systems of the substantiation of the election of anti-crisis programs at the enterprise, which are in demand in the software market. In it the

comparative analysis of the developed information system with the existing systems was carried out, and also shortcomings of systems performing anti-crisis management are revealed.

Keyword. Information system, crisis management.

Из-за низкого качества менеджмента уровень управления предприятием может быть неудовлетворительным. От управленческих решений принимаемых в организации, зависит не только достижение конкретных целей, но и существование всей организации. Неверные управленческие решения могут быть обусловлены тем, что их принимали на основании информации, не соответствующей актуальным потребностям предприятия. Таким образом, для эффективного управления организацией и исправления ошибок в управлении можно прибегнуть к антикризисному управлению предприятием. Для осуществления эффективного проведения антикризисного управления необходимо сначала узнать действительно ли предприятие находится в области убытков и если это подтвердится произвести расчеты, проанализировать их и на основании этого составить экономико-математическую модель, позволяющую определить антикризисные меры на предприятии.

За несколько последних десятилетий антикризисное управление получило широкое распространение по всему миру. По этой причине на настоящий момент уже разработано множество различных алгоритмов, методов и моделей, на основе которых работают специализированные информационные системы выбора антикризисных мероприятий на предприятии. Каждая из таких систем обладает большим количеством функциональных возможностей, собственным интерфейсом и подходом к решению основных задач, которые позволяют вывести предприятие, находящаяся в определенных условиях, из кризисной ситуации, найдя некоторый способ решения проблемы. Но этот способ не всегда является оптимальным. Кроме того такие информационные системы имеют свои недостатки[2][3]. Примером, некоторые из таких систем являются: Альт-Прогноз, Marketing Expert, Combi-PC и многие другие.

Таким образом, целью данной работы является анализ рынка информационных систем обоснования выбора антикризисных мероприятий на предприятии. А актуальность заключается в выявлении неудовлетворенных потребностей рынка информационных технологий.

В рамках данной работы был проведен анализ информационных систем по осуществлению антикризисного управления. Рассмотрим их более подробно.

Система Альт-Прогноз

Система Альт-Прогноз была создана на Сорском молибденовом комбинате и СП «Совиталпродмаш» в ходе создания и разработки антикризисных программ. С помощью этой технологии антикризисного управления можно построить модель существующего предприятия, отражающую все основные направления его деятельности. Помимо этого подобные модели применяются к решению задач таких, как формирование и оптимизация финансовых бюджетов (финансовых планов) предприятия. По большей части, модель описывает и представляет информацию для оптимизации следующих направлений деятельности предприятия [4]:

- управление текущими затратами;
- инвестирование средств (инвестиционная программа);
- финансовая политика предприятия (эмиссии, программа кредитования, расчетов с бюджетом);
- контроль склада, отгрузка продукции (работ, услуг);
- производство продукции (работ, услуг).

С помощью программы Альт-Прогноз руководитель организации может оперативно получить информацию о дальнейшем развитии ситуации на предприятии. Помимо этого с помощью программы есть возможность выбирать оптимальные способы решения конкретных управленческих проблем и в тоже время прогнозировать и планировать влияние тех или иных факторов на общую ситуацию на предприятии.

Программа Альт-Прогноз помогает решить следующие задачи[1]:

- выявление наиболее оптимальных сочетаний управленческих решений, которые направлены на рост прибыли и ликвидности организации;
- оптимизация управления оборотным капиталом предприятия;
- определение для каждого вида продукции цены и объема реализации, при которых достигается безубыточность работы предприятия;
- оптимизация структуры поступлений и платежей;
- оценка суммы необходимого кредитования и построение графика привлечения и возврата средств (в том числе по ранее привлеченным кредитам).

Система Альт-прогноз используется для разработки финансовой стратегии предприятия. С ее помощью можно построить график привлечения и возврата заемных средств по проекту, а также разработать план выхода организации из кризисной ситуации[1].

Программа Альт-Прогноз является программным продуктом фирмы «Альт». Она разработана на основе электронных таблиц (Microsoft Excel).

К ее преимуществам относятся: открытость программы (просмотр всех формул, связей между модулями и т. д.), универсальность программы (возможность редактирования формул, связей и т. д.) и низкая стоимость [2].

Так как данная программа является не самостоятельным программным продуктом, то ее недостатками являются ограниченность в использовании, т.к. доступные демо-версии не позволяют осуществить качественные мероприятия по антикризисному управлению фирмой[3].

Программа Marketing Expert

Программа Marketing Expert — одна из систем планирования и управления маркетингом на предприятии, который занимает главенствующее место в антикризисном управлении[3]. Программа применяется для оценки реального положения предприятия на рынке. Она помогает осуществить сравнительный анализ его сбытовой деятельности с конкурентами и сформировать оптимальную структуру сбыта. При разработке оптимальных стратегии и тактики работы компании на рынке, расчете основных плановых финансовых результатов неоценимую помощь оказывает применение общепринятых аналитических методик, таких как GAP-анализ, сегментный анализ, SWOT-анализ, Portfolio-анализ[3].

Можно выделить следующие основные функции программы Marketing Expert:

- анализ внешней среды;
- создание модели деятельности предприятия на рынке;
- SWOT-анализ, который является незаменимым инструментом на всех этапах антикризисного управления предприятия;
- определение доходности и прибыльности;
- экспертные оценки и т.д.

Программа используется для разработки подробных тактических и стратегических планов маркетинга, а также для контроля их применения. С помощью программы Marketing Expert можно быстро построить рыночную модель деятельности предприятия, которая состоит из сегментов: рыночных и инфраструктурных.

Преимуществами программы Marketing Expert являются:

- возможность передачи исторических данных по объемам продаж, затратам и ценам, что значительно сокращает время;
- возможность реализовать собственные методики анализа рынка с помощью экспертных опросов, механизма формулы и пользовательских таблиц.

Однако, программа обладает рядом недостатков, которые существенно снижают ее ценность[3]:

- интерфейс программы довольно сложный. По этой причине работать с модель неудобно, т.е. теряется динамика работы;

- программа не предоставляет удобного инструментария для сбора и подготовки к выводу большого объема данных, с которыми она работает. По этой причине построение приемлемой модели - операция дорогостоящая и не всегда выполняемая.

По приведенным причинам гибкого и качественного инструмента из программы не получилось.

Специализированный пакет прикладных программ Combi-PC

В настоящее время существует специализированный пакет прикладных программ для внешнего антикризисного управления - Combi-PC, который рассматривает в качестве объектов анализа различные виды продукции, варианты планов, исполнителей, мероприятий, предприятий.

Система Combi-PC представляет собой базу данных, которая состоит из набора таблиц. В основе базы данных системы лежит большое количество алгоритмов и процедур многокритериального упорядочения, а именно методы парных сравнений, порогов сопоставимости, процедуры экспертной и одномерной классификации, итеративная спортивная модель и другие. Опираясь на эти методы, система Combi-PC позволяет производить в процедурах выбора сравнительную оценку объектов. Важная особенность системы заключается в том, что пользователь может не только выбирать готовый метод из библиотеки, но и сам создавать и конструировать способ решения поставленной задачи, как цепочку шагов. С помощью этого специализированного пакета прикладных программ можно решать следующие задачи[5]:

- сравнительный анализ деятельности предприятий;
- тематическое планирование научно-исследовательских и конструкторских работ;
- анализ системы показателей качества продукции;
- оценку адаптационных возможностей отраслей экономики.

Такая программа рассматривает действующее предприятие либо как потенциального банкрота, либо ориентирована на оживление или ликвидацию неблагополучного предприятия. По этой причине использование такой программы для внутреннего антикризисного управления весьма затруднено.

В связи с имеющимися недостатками рассмотренных информационных систем предполагается разработать информационную систему обоснования выбора антикризисных мероприятий на предприятии, которая будет учитывать все выявленные недостатки программ. Данное программное средство поможет пользователям в выборе эффективных мер управления организацией, оказавшейся в кризисной ситуации. Разработка нового программного продукта, удовлетворяющего потребностям выявленной целевой группы, для осуществления антикризисного управления предприятием является актуальным вопросом и в настоящий момент.

Библиографический список

1. Альт-Прогноз [Internet]. [cited 2018 Feb 16]. Available from: <https://axoft.ru/vendors/AltInvest/alt-prognoz/>
2. Website [Internet]. [cited 2018 Feb 16]. Available from: <https://sci.house/biznes-scibook/osnovnyie-programmnyie-produktyi-firmyi.htm>
3. Marketing Expert [Internet]. [cited 2018 Feb 16]. Available from: https://www.marketing.spb.ru/soft/products/m_expert.htm
4. Антикризисное управление: теория, практика, инфраструктура / Отв. ред. Г.А. Александров. –М.: Издательство БЕК, 2002. –544с.
5. Ивасенко А.Г., Гридасов А.Ю., Павленко В.А. Информационные системы и технологии в экономике и управлении – М.: КноРус, 2007. – 160 с.

СЕКЦИЯ "МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ"

УДК 519.173.5; ГРНТИ 27.45.17.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРЕДЕЛА ПЕРКО- ЛЯЦИИ ПРИ КОТОРОМ ПРЕКРАЩАЕТСЯ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНФОР- МАЦИИ В СОЦИУМЕ

Е.В. Гарин

*Томский университет систем управления и радиоэлектроники
Россия, Томск, power_sleep@mail.ru*

Аннотация. В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования распространения информации в социуме. Эмпирически обнаружено и исследовано математическими методами свойство социума, при котором теряется способность социума к передаче информации.

Ключевые слова. Числовые характеристики графов, управление большими и сложными системами, самоорганизующиеся и саморегулирующиеся системы

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE VALUE OF THE PERCOLATION LIMIT AT WHICH THE DISSEMINATION OF INFORMATION IN SOCIETY

E.Garin

*Tomsk University of Control Systems and Radioelectronics
Russia, Tomsk, power_sleep@mail.ru*

Abstract. In this paper, we present the results of an experimental study of the dissemination of information in a society. Empirically discovered and investigated by mathematical methods is the property of society, in which the ability of the socium to transfer information is lost.

Keywords. Numerical characteristics of graphs, control of large and complex systems, self-organizing and self-regulating systems

Введение

В процессе распространения информация последовательно проходит через ряд долей строго ориентированного социального графа, характеризующихся такими числовыми характеристиками графа как плотность связей и коэффициентом перколяции, при этом количество каналов передачи информации постепенно уменьшается по степенному закону, а многократное повторение передачи однотипной информации приводит к зашумлению социума, временной потере социумом способности к передаче информации и потери управляемости. Это состояние зашумления социум преодолевает за счет формирования механизмов обратной связи, характеризующихся порогом перколяции долей социума и лежащих в самой основе способности социума к саморегуляции.

Экспериментальная часть

В серии экспериментов в социальной сети LinkedIn [1] было обнаружено что при повторении однотипной информации ее распространение происходило менее эффективно по критерию охвата аудитории. То есть частые повторы однотипной информации «утомляли» ближайшее социальное окружение источника информации, что не сказалось на вторичные волны поздравлений, которые так и продолжили распространяться согласно степенному закону. Этот факт «утомления» ближайшей социальной среды под воздействием однотипных новостей повторяет собой феномен «рекламной глухоты», то есть восприятия новости в качестве шума и временно приводящий коэффициент перколяции социума к предельно малому значению $K_{perc} \approx 0$.

В свою очередь это позволяет ввести в инструментарий исследования социума еще один показатель – предел перколяции.

Определение 1: Предел перколяции (max Limitperc) это предельно максимальное значение входящих каналов информации, передача по которым однотипной информации приводит к временной практически полной потере социумом способности к распространению информации ($K_{perc} \rightarrow 0$).

Определение 2: Предел перколяции (max Limitperc) это предельно максимальное значение повторов однотипной информации, приводящее к временной практически полной потере социумом способности к распространению информации ($K_{perc} \rightarrow 0$).

На рисунке 1 показана динамика ответных писем в трех последовательных экспериментах в LinkedIn:

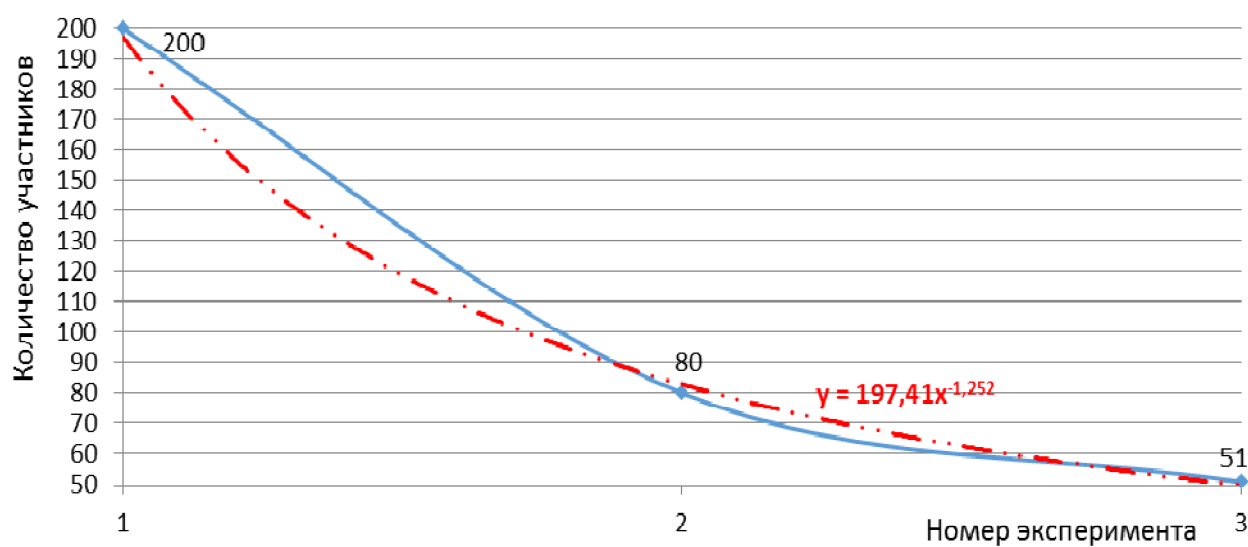


Рис. 1. Динамика ответных писем для трех экспериментов LinkedIn [Источник: составлено автором]

Из графика на рисунке 1 видно, что количество ответных писем на первом этапе трех экспериментов снижается. И это снижение происходит с большой вероятностью по степенному закону.

Фактически эффективность многократного распространения однотипной информации (рекламы) в социуме является степенной зависимостью, и рассчитывается по экспериментально обнаруженной формуле еще требующей детализации и уточнения:

$$y \approx 0,02 * N * x^{-1,2} \quad (1),$$

где y — количество людей, воспринявших информацию (рекламу) и передавшую ее другим людям;

N — количество людей в аудитории;

x — количество повторов.

Из эксперимента Уоттса [2, 3] известно, что фактически на каждом последующем этапе передачи информации теряется до 65% каналов передачи информации. Поэтому критическим для рекламы становится такое значение повторов x , когда вторая волна распространения рекламы вообще не образуется, то есть при $y \approx 3$. Так как функция эффективности рекламы является степенной, то практически вне зависимости от величины аудитории N , эффективность рекламы резко снижается на отрезке от 2 до 8 повторов, после чего снижение эффективности замедляется, а при количестве повторов $x \approx 30$ ($\max \text{Limitperc} \approx 30$) эффективность рекламы достигает своего минимума — эффекта рекламной глухоты, — Рис. 2:

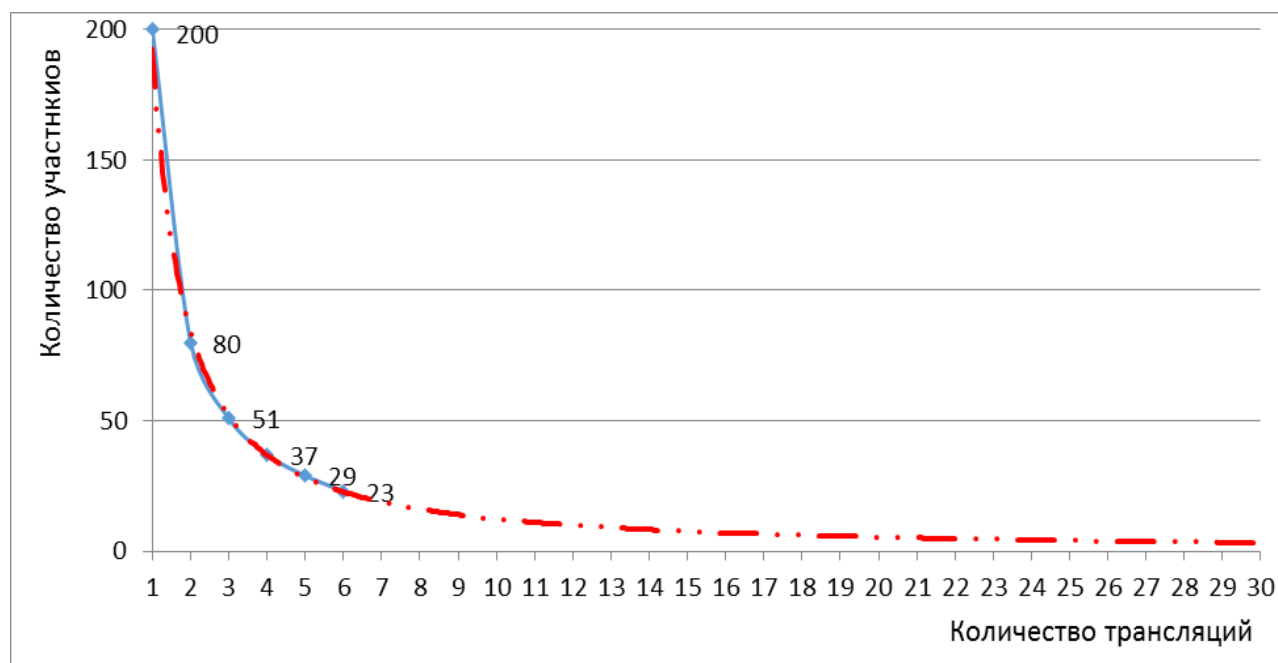


Рис. 2. Степенная функция эффективности рекламы [Источник: составлено автором]

Выводы

Из этого можно сделать далеко идущие выводы, например, о негативных последствиях насаивания информационных поводов друг на друга в политической рекламе, когда высокая частота положительных инфо-поводов приводит к обратному эффекту – негативной реакции, как следствие падению популярности и в лучшем случае нейтралитету аудитории. В пример можно противопоставить такие инфо-поводы как «12 подвигов Геракла» и «1 кражу огня Прометеем», или «53 сбитых Покрышкиным самолета» и «1 пролет под мостом Чкалова». Из рис. 2. видно, что если бы Чкалов повторил свой пролет под мостом хотя бы 10-12 раз, то новость об этом перешла бы в область зашумления. То же можно сказать и о новостях со сводками преступности – если негативные новости насаиваются друг на друга, то зашумляются, и переходят из негативной области восприятия в нейтральную.

Библиографический список

1. Гарин, Е.В., Мещеряков Р.В. Модель управления социумом // «Проблемы теории и практики управления» - международный журнал научно-исследовательского института проблем управления: раздел «Управление социальным развитием», (1), 2017. URL: <http://uftp.ru/articles/tochka-zreniya/2214/> (дата обращения: 10.02.2017)
2. Watts, Duncan J. Six Degrees: The Science of a Connected Age, Norton, 2003
3. M. E. J. Newman and D. J. Watts. Scaling and percolation in the small-world network model. Phys. Rev. E 60, 7332-7342 (1999) (arXiv: 9904419v2).

УДК 519.245; ГРНТИ 27.41.77

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ОМД

М. Жаров

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет),
Россия, Москва, MaximZharov@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается возможность применения математического моделирования характера течения металлов и сплавов в условиях горячей пластической деформации. Математическая модель строится на методе конечных элементов, который является одним из наиболее распространенных численных методов аппроксимации постоянной функции совокупностью дискретных элементов. Особое внимание уделяется механизмам оценки соответствия методов математического моделирования реальным физическим процессам.

Ключевые слова. Математические методы, метод конечных элементов, деформирование металлов и сплавов, пластическая деформация, математическое моделирование, адекватность математической модели

THE USE OF MATHEMATICAL MODELING BY THE FINITE ELEMENT METHOD IN THE SOLUTION OF TECHNOLOGICAL PROBLEMS OF METAL FORMING

M. Zharov

*Federal state budgetary educational institution of higher education
«Moscow Aviation Institute» (National Research University),
Russia, Moscow, MaximZharov@mail.ru*

Abstract. This paper analyses the possibility of applying mathematical modeling of the flow of metals and alloys under hot plastic deformation. The mathematical model is based on the finite element method, which is one of the numerical methods for approximation of a constant function by a set of discrete elements. Special attention is paid to the mechanisms of conformity assessment of mathematical modeling results to real physical processes.

Keywords. Mathematical methods, finite element method, deformation of metals and alloys, plastic deformation, mathematical modeling, accuracy of the mathematical model

Введение

В настоящее время на отечественном рынке появилось большое количество прикладных компьютерных программ, позволяющих моделировать характер течения металлов и сплавов в условиях холодной и горячей пластической деформации. Естественно, что в каждой из представленных программ заложена определенная математическая модель, описывающая процессы, проходящие в материале при его деформировании с определенной скоростью движения инструмента и в определенных температурных условиях.

Математическая модель пластического течения металлов и сплавов крайне сложна и включает в себя систему из пятнадцати дифференциальных и интегральных уравнений, описывающих объемные формоизменения, изменения реологических свойств материала, изменение теплового и силового полей по телу деформируемого полуфабриката, изменения влияния условий деформирования и первоначальных условий внешней среды и поверхности контактирующего инструмента и т.д. Решить данную задачу математическими исчислениями практически невозможно [1, 2].

В связи с бурным развитием в последнее время высокопроизводительной вычислительной техники стало возможным решение подобных задач путем применения численных методов. Одним из наиболее перспективных численных методов, который позволяет решать задачи обработки металлов давлением (ОМД) является метод конечных элементов. Суть данного метода заключается в том, что исследуемая область какой-либо функции (поле на-

пряжений, поле деформаций, поле температур и т.д.) разбивается на отдельные элементы. Эти отдельные области и носят название конечных элементов. Далее поведение функции исследуется только в рамках этой дискретной области. При этом определяется не только математическая зависимость, описывающая поведение функции, но и определяются значения функции в узловых точках на границе конечного элемента. После этого значения функций двух соседних областей в этой узловой точке уравниваются. Таким образом, непрерывная сложная функция разбивается на огромное количество дискретных зависимостей, описывающих то или иное явление. Следующий этап построения математической модели заключается в аппроксимации множества дискретных функций какой-либо одной, обычно полиномиальной, зависимостью. В зависимости от сложности функции может использоваться полином второй, третьей, четвертой и т.д. степени [3].

Таким образом, происходит объединение всей системы отдельных конечных элементов в единую модель. Математическое моделирование характера течения металла в условиях холодной и горячей пластической деформации с применением в качестве основы метода конечных элементов представляется наиболее перспективным на данном этапе развития вычислительной техники и используемой теории математического анализа [4].

В настоящее время, на отечественном рынке компьютерных прикладных программ, представлены несколько успешных программных продуктов, построенных на основе метода конечных элементов. Это такие программы как QForm, DeForm, Ansys-DYNA.

Определение адекватности применяемой математической модели реальным физическим процессам

Безусловно, ценность той или иной математической модели определяется в первую очередь сходимостью получаемых результатов математического моделирования и фактических данных реальной штамповки металлов и сплавов в условиях реального металлургического процесса. В случае расхождений или высокой степени отклонений ценность данной математической модели крайне сомнительна.

Поэтому для оценки адекватности результатов использования математической модели необходимо провести большое количество реальных экспериментов по деформированию однородных и гетерогенных материалов в условиях использования различных температурно-скоростных условиях формоизменения, различных схемах нагружения, различных режимов и состояний деформирования. При этом необходимо разработать систему оценки параметров, которые бы показали соответствие результатов математического моделирования реальным процессам.

Предлагается следующая система методик по определению адекватности применяемой математической модели:

1. Исследование и анализ геометрических параметров деформируемой заготовки в условиях свободной осадки.
2. Исследование и анализ наличия или отсутствия дефектов в виде утяжин, зажимов, складок и т.д. при формировании изделий со сложной геометрией и нестабильном заполнении полости штампа, а так же определение размеров этих дефектов.
3. Анализ прочностных свойств различных областей материала, имеющих разную величину вследствие различных накопленных степеней деформации.

Использование данной системы оценок сходимости позволит определить действенность построенной математической модели, что позволит ее использовать для анализа характера течения металла в условиях пластической деформации.

В настоящее время на кафедре "ТиСАПР МП" Московского авиационного института (Национального исследовательского университета) проводятся исследования, направленные на определение сходимости результатов математического моделирования, основанного на методе конечных элементов и реальных технологических процессов.

Проблема заключается в том, что при течении вязкопластической среды нагретой заготовки невозможно проверить ни накопленную степень деформации, ни температуру, ни скорость истечения материала в теле деформируемого полуфабриката. Возможно только определение геометрических параметров в условиях изменяемых и жестко контролируемых параметров внешних условий.

Наиболее простой способ определения соответствия модели и характера течения металла заключается в осадке цилиндрической заготовки между плоскими бойками деформирующего инструмента. При этом возможно контролирование таких параметров как температура нагрева заготовки, скорость движения деформирующего инструмента и коэффициент трения μ на поверхности раздела заготовка-инструмент. Варьируя эти параметры в реальном эксперименте и в построенной математической модели в среде конечно-элементного программного продукта можно получать различные геометрические параметры "бочки", т.е. выпуклой части срединного объема заготовки и форму поверхности этой "бочки" (рис. 1). Далее проводится статистический анализ подобия результатов реального эксперимента и результатов математического моделирования. По итогам анализа получают количественную оценку, которая показывает отклонение модели от реальных физических процессов. Исследования данного вида проводились на различных материалах (алюминиевые сплавы 01420, АМг3, АМг6, АК6, АВ, стали Ст.3, Ст. 45, У20А, 12Х19Н10Т) в условиях горячей пластической деформации. Среднее отклонение по исследуемым параметрам составило 4-6%, что укладывается в среднюю величину статистической погрешности.

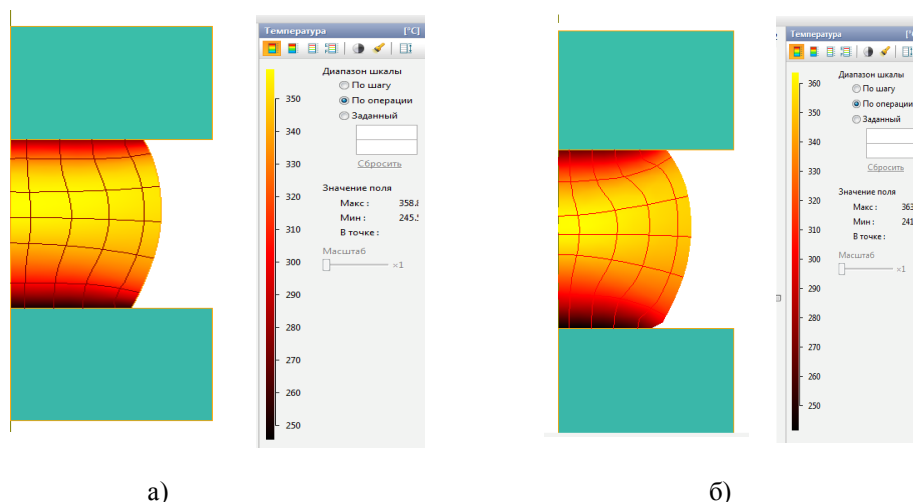


Рис. 1. Результаты математического моделирования свободной осадки цилиндра в условиях внешнего трения на торцевых поверхностях заготовки при $\mu = 0,1$ (а) и при $\mu = 0,2$ (б) в программном комплексе QForm

Необходимо учитывать особенности отличия характера свободного течения металла от затрудненного формоизменения в закрытых полостях штампов. При сложной форме получаемого изделия вероятно получение зажимов и утяжин в деформируемом полуфабрикате. Путем анализа местоположения формируемого дефекта и его величины (например, глубины утяжины l_{ym}) можно диагностировать адекватность построенной математической модели и реального физического явления (рис. 2). Исследования данного вида проводились на вышеуказанных материалах с изменением температурно-скоростных параметров деформирования. Измерение геометрического параметра, а именно глубины формируемого дефекта на реальном образце из-за особенностей характера течения металла производилось после его металлографического исследования [5, 6].

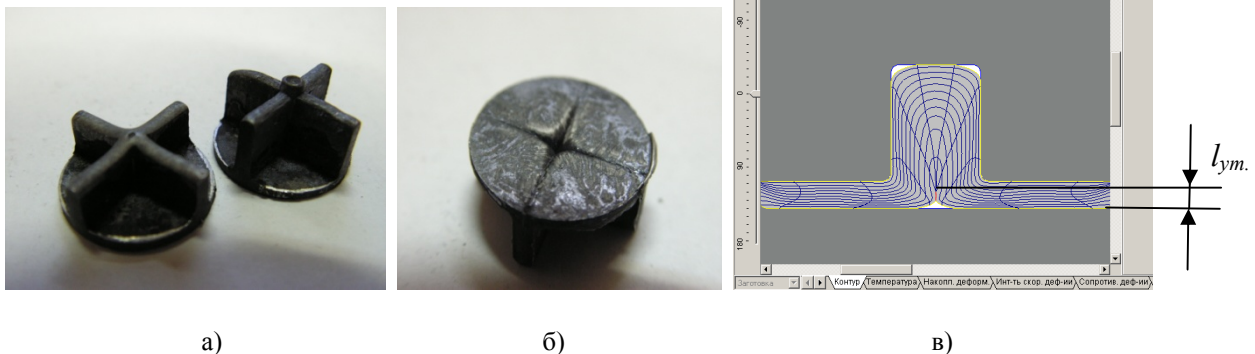


Рис. 2. Образцы, полученные реальной штамповкой (а), реальная утяжина на оборотной стороне изделия (б), визуализация результатов математического моделирования с дефектом, глубиной l_{yt} . (в)

Третий этап определения применимости построенной модели заключается в исследовании микротвердости по объемам деформированного изделия. Однако данное исследование адекватности математической модели применимо только для холодной или теплой деформации, когда температура нагретой заготовки не превышает 40 процентов от температуры плавления деформируемого материала ($0,4 \cdot T_{пл}$). Это требование обусловлено отсутствием процессов рекристаллизации и снятия наклепа при температурах ниже $0,4 \cdot T_{пл}$. [1, 2].

При деформировании, в зависимости от характера течения металла, в разных областях изделия формируется различная степень деформации, которая в условиях холодного формоизменения характеризуется различным наклепом (рис. 3). Следовательно, измерение микротвердости и сравнение результатов с математической моделью, выполненной в пакете конечно-элементного анализа дает возможность определить степень адекватности применяемой математической модели.

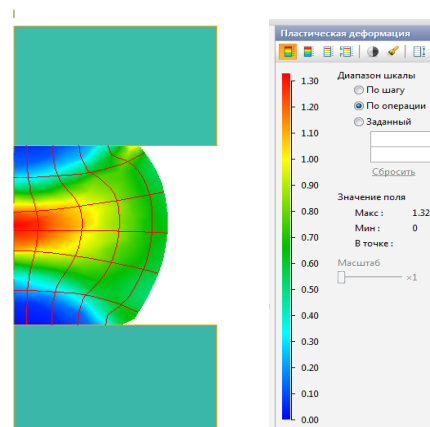


Рис. 3. Распределение степени деформации по телу образца в математической модели

Результаты исследований

Проведенные реальные эксперименты по деформированию горячей объемной штамповкой опытных образцов выявили высокую сходимость результатов математического моделирования с применением метода конечных элементов и результатов реальной штамповки.

Исследования проводились на опытных образцах из алюминиевых сплавов 01420, АМг3, АМг6, АК6, АВ и на заготовках из сталей марок Ст.3, Ст. 45, У20А, 12Х19Н10Т) в условиях горячей пластической деформации.

Относительное отклонение результатов математического моделирования от результатов реальной штамповки по анализу геометрических параметров изделия, местоположению и глубине дефектов формы (в том числе глубине утяжины l_{ym}) и распределению микротвердости составляет не более 4-6 %, что укладывается в статистическую погрешность и характеризует крайне высокую точность применяемого метода и разработанной на его основе математической модели.

Библиографический список

1. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
2. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1986. – 688 с.
3. Андреев В.Б. Лекции по методу конечных элементов. – М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 1997. – 178 с.
4. Сегерлинд Л.Д. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
5. Жаров М.В. Применение метода конечных элементов в исследованиях пластического течения металлических материалов. В сборнике "Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2017": Сб. тр. международной науч.-техн. и научно-методической конференции: в 8 томах. Том 2./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2017; Рязань. – 224 с. С. 123 – 126. ISBN 978-5-7722-0293-7
6. Галкин В.И. Конечно-элементный анализ. Возможности и перспективы применения при решении задач обработки металлов давлением. В сборнике научных трудов "Современные технологии обработки металлов и сплавов" – М.: МАТИ: ИНФРА-М, 2015. – 252 с. (Серия "Научная мысль"). С. 112 – 140. ISBN 978-5-16-102533-8 (online).

УДК 519.48; ГРНТИ 27.17.23

ОДИН ПРИМЕР ПОЧТИ АССОЦИАТИВНОЙ АЛГЕБРЫ С БЕСКОНЕЧНОЙ СИСТЕМОЙ ОБРАЗУЮЩИХ ТОЖДЕСТВ

В. Миронов

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, miroнов.v.v@rsreu.ru

*Не важно, что ты бежал последним,
важно, что ты пришел первым*

Аннотация. Строится пример разрешимой, «почти ассоциативной» алгебры с семью ненулевыми элементами, удовлетворяющей бесконечной системе независимых тождеств. Утверждается, что подобных (по базису тождеств) алгебр с меньшим числом элементов не существует.

Ключевые слова. Конечная алгебра, почти ассоциативная алгебра, бесконечное число тождеств.

ONE EXAMPLE OF ALMOST ASSOCIATIVE ALGEBRA WITH THE INFINITE SYSTEM OF EDUCATIONAL IDENTITIES

V. Mironov

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, miroнов.v.v@rsreu.ru

Abstract. An example of a solvable "almost associative" algebra with seven non-zero elements satisfying an infinite system of independent identities is constructed. It is stated that such algebras (with respect to a basis of identities) with fewer elements do not exist.

Keywords. A finite algebra, an almost associative algebra, an infinite number of identities

Введение

Вопрос о связи мощности той или иной конкретной алгебры и мощности ее независимых тождественных соотношений (тождеств) вызывает естественный интерес. Оказывается, что эта связь может быть достаточно "свободной" в том смысле, что из конечности такой алгебры не всегда следует конечность числа ее базисных тождеств. Впервые этот факт для абстрактных алгебраических систем установлен в работе [1]. Ответы на подобные вопросы для конкретных алгебр периодически возникают в специальных изданиях.

Актуальным направлением в теории многообразий алгебр, порожденных конечными алгебрами, является построение конкретных бесконечно базисуемых, точнее конечных, алгебр, не имеющих конечного базиса тождеств (НКБ-алгебр). Впервые примеры таких алгебр привели: среди группоидов – Р. Линдон [1], среди полугрупп – П. Перкинс [2], среди колец и линейных алгебр – С.В. Полин [4], среди луп – М. Воон-Ли [3].

По определению конечная НКБ-алгебра называется существенно бесконечно базисуемой (СББ-алгебра), если любое её локально конечное многообразие (содержащее эту алгебру) не имеет конечного базиса тождеств (или имеет неконечный базис тождеств).

Впервые примеры существенно бесконечно базисуемых алгебр привели: в классе группоидов – В.Л. Мурский [5], в классе полугрупп Ли – М.В. Сапир [6], в классе колец и линейных алгебр – И.М. Исаев [10], в классе групп – А. Ю. Ольшанский (в работе доказывается континуальность множества многообразий групп, отсюда следует существование бесконечной системы групповых тождеств, не эквивалентной никакой конечной системе) [8], в классе групп же и С.И. Адян (в работе построены бесконечные неприводимые системы групповых тождеств, содержащих две переменные, доказано существование труппы, заданной двумя образующими и перечислимым множеством тождественных соотношений, в которой неразрешима проблема тождества) [9], М.В. Сапир привел полное описание СББ-полугрупп [7].

Общей проблемой в этом разделе алгебры, изучающем тождества конечной алгебры, является проблема А. Тарского: будет ли рекурсивным множество всех конечно-базисуемых алгебр с сигнатурой, содержащей хотя бы одну бинарную алгебраическую операцию [11]?

Иными словами, существует ли алгоритм, позволяющий для любой конечной алгебры определить, имеет или не имеет эта алгебра конечный базис тождеств? Эта проблема имеет смысл только в тех классах алгебр, где наряду с конечно-базисуемыми конечными алгебрами существуют конечные НКБ-алгебры. Проблема Тарского решена (отрицательно) Р. Маккензи [12].

Важную роль в построении НКБ-алгебр играет многообразие с определяющим тождеством левой нильпотентности $x(yz) = 0$, рассмотренное С.В. Полиным [4]. В этой работе приведен первый пример конечной линейной НКБ-алгебры.

В более поздних работах были построены другие примеры конечных и конечномерных НКБ-алгебр, лежащих в многообразии Полина (Ю.Н.Мальцев, В.А.Парфенов [13], И.В.Львов [14], Ш.Оутс-Макдональд, М.Р.Воон-Ли [15]).

Другая сторона вопроса

Теория тождеств ассоциативных алгебр (или теория ассоциативных PI-алгебр) остается актуальным разделом алгебры. Одна из основных проблем PI-теории была в свое время поставлена В. Шпехтом [16]: "Верно ли, что всякая ассоциативная PI-алгебра (над полем нулевой характеристики) имеет конечный базис тождеств?".

Эта проблема актуальна и для алгебр над любым полем, и для колец, и для групп, и для других алгебраических структур.

Как уже отмечалось, проблема конечного базирования для групп была отрицательно решена А.Ю. Ольшанским и С.И. Адяном. И.В. Львов доказал, что любое конечное кольцо имеет конечный базис тождеств [17].

Проблеме конечной базисуемости алгебр были посвящены многие работы В.Н. Латышева (к примеру, [18]).

Окончательно проблема Шпехта для полей нулевой характеристики была решена А.Р. Кемером [19]. А.Я. Белов построил контрпримеры к гипотезе Шпехта для алгебр над полем конечной характеристики p и показал справедливость гипотезы Шпехта для конечномерных PI-алгебр [20].

Среди многих красивых результатов о шпехтовости многообразий алгебр отметим результат С. В. Пчелинцева [21], который построил пока единственный пример почти шпехтова (или локально шпехтова) многообразия (бесконечно базисуемое многообразие, все собственные подмногообразия которого имеют конечный базис) центрально метабелевых альтернативных алгебр над полем характеристики $p = 3$.

Кроме того, в сборнике [22] В. А. Горбунов поставил вопрос о конечности независимого базиса квазитожеств конечной группы. Эта проблема (и для конечного кольца или линейной алгебры) открыта до сих пор. И.М. Исаев построил пример конечного кольца (линейной алгебры), не имеющего независимого базиса тождеств [23]. И.М. Исаев и А.В.Кислицин доказали существование центральной простой конечномерной алгебры над полем нулевой характеристики, тождества которой не задаются конечным набором (проблема И.П. Шестакова) [24]. Г.В.Дорофеев построил пример конечномерной правоальтернативной не нильпотентной нильалгебры [25].

В развитие темы укажем дополнительно на работы [26 – 32].

Отметим также, что решетки как конечно базисуемых, так и бесконечно базисуемых многообразий алгебр не замкнуты относительно операции объединения многообразий [33].

В данной статье автор, в развитие работ [33, 34], постарался соединить оба описанных выше математических интереса.

В работе строится пример разрешимой, почти ассоциативной алгебры с семью ненулевыми элементами, не имеющей конечного базиса тождеств.

Доказывается, что подобной же разрешимой, почти ассоциативной алгебры с меньшим числом элементов не существует.

За термином "почти ассоциативная" алгебра не стоит устоявшийся алгебраический объект в отличие от уже устоявшегося термина "алгебра, близкая к ассоциативной" (см., например, [35]).

Основной результат

Приведем основные определения, сформулируем и докажем основные теоремы. Недостающие определения можно найти, например, в классической монографии [35].

Определение 1. Если неассоциативный одночлен v записан в виде

$$v = (x_1 x_2) T(x_3) \dots T(x_n), \quad (1)$$

где $T(\dots)$ – оператор правого или левого умножения на соответствующий элемент, то одночлен $x_1 x_2$ (и только такой одночлен) назовем началом одночлена v .

Очевидно, что если одночлен v имеет начало, то и с точностью до имен переменных этот одночлен имеет вид (1).

Определение 2. Пусть множество V образуют различные слова (или элементы) $e_1, e_2, \dots$, и $e_i e_j$ при индексах $i, j = 1, 2$.

Структуру унитарного $\mathbf{Z}_{[2]}$ -модуля K от множества V свободных порождающих над полем $\mathbf{Z}_{[2]}$ определим естественным образом [35].

Определим далее операцию умножения « $\cdot$ » (которую в дальнейшем будем опускать, если это не вызывает разночтения) на элементах множества V по правилам:

$$(\forall i, j = 1, 2) e_i \cdot e_j = e_i e_j, \quad (2)$$

$$(\forall i, j, k = 1, 2) e_i e_j \cdot e_k = e_i e_k \wedge e_k \cdot e_i e_j = e_k e_j, \quad (3)$$

$$(\forall i, j, k, l = 1, 2) e_i e_j \cdot e_k e_l = 0. \quad (4)$$

Операция умножения на элементах множества V естественным образом распространяется на элементы всего $\mathbf{Z}_{[2]}$ -модуля K . Полученную таким образом уже $\mathbf{Z}_{[2]}$ -алгебру обозначим той же буквой K (но в другой, «жирной» графике).

Очевидно, что в $\mathbf{Z}_{[2]}$ -алгебре K выполняется тривиальное тождество

$$2x = 0. \quad (5)$$

Определим одну запись одночлена $v = [x_1 \dots u \dots x_n]_\delta$, которая означает, что одночлен v записан в каких-то (конечного числа) переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$, переменная x_1 является самой левой в одночлене v , переменная x_n является самой правой в одночлене v , δ – это некоторая расстановка скобок в v , такая, что эту расстановку можно записать в виде (и только) $v = u T(x_i) \dots T(x_j) R(x_2) L(x_1)$ или в виде $v = u T(x_i) \dots T(x_j) L(x_1) R(x_2)$, где R, L, T – операторы соответственно правого, левого, правого или левого умножения на соответствующую переменную, одночлен u (как следует из определения 1) – это начало одночлена v , при этом переменные x_1, x_n не входят в запись одночлена u .

Запись одночлена $v = [x_1 \rightarrow u \leftarrow x_n]_\delta$ означает то же, что и предыдущая запись $v = [x_1 \dots u \dots x_n]_\delta$, с той лишь разницей, что переменные x_1, x_n входят в запись одночлена u (соответственно слева и справа).

Запись тождества $[x_1 \rightarrow u_1 \leftarrow x_n]_{\delta_1} = [x_1 \rightarrow u_2 \leftarrow x_n]_{\delta_2}$ или тождества $[x_1 \dots u_1 \dots x_n]_{\delta_1} = [x_1 \dots u_2 \dots x_n]_{\delta_2}$, кроме описанного, подразумевает, что его одночлены записаны в одних и тех же переменных, если начало u_1 или u_2 не полилинейное (записано с использованием только одной переменной), то каждая переменная, входящая в запись любого из начал тождества, входит в его запись, по крайней мере, дважды.

Запись одночлена $[x_1 \hat{x}_3 u x_2]_\delta$ или $[x_1 u \hat{x}_3 x_2]_\delta$ означает, что переменная x_3 входит в запись одночлена один раз либо слева, либо справа от начала u .

Примеры записей тождеств: $(x_1(x_2 x_3))x_4 = (x_1(x_3 x_2))x_4$,

$$((x_1 x_1)x_2)x_2 = ((x_1 x_2)x_1)x_2, (x_2(x_1 x_1))x_1 = (x_2(x_1 x_2))x_1,$$

$$((x_1 x_1)x_2)x_2 = ((x_1 x_1)x_1)x_2, ((x_1 x_1)R(x_1) \dots R(x_1))x_2 = ((x_1 x_1)x_1)x_2.$$

Запись многочлена $[x_1 \hat{x}_3 \bar{u} x_3 x_2]_{\delta} + [x_2 \hat{x}_3 \bar{u} x_3 x_1]_{\delta}$ означает, кроме перечисленного, что переменные в начале u могут меняться (а могут и не меняться) местами.

К примеру, запись $[x_1 \hat{x}_3 \bar{u} x_2]_R + [x_2 \hat{x}_3 \bar{u} x_1]_R$ при $u = x_4 x_5$ может кодировать сразу несколько двучленов:

$$\begin{aligned} & [x_1 x_4 x_5 x_3 x_2]_R + [x_2 x_4 x_5 x_3 x_1]_R, \quad [x_1 x_3 x_4 x_5 x_2]_R + [x_2 x_3 x_4 x_5 x_1]_R, \\ & [x_1 x_4 x_5 x_3 x_2]_R + [x_2 x_5 x_4 x_3 x_1]_R, \quad [x_1 x_3 x_4 x_5 x_2]_R + [x_2 x_5 x_4 x_3 x_1]_R, \\ & [x_1 x_5 x_4 x_3 x_2]_R + [x_2 x_4 x_5 x_3 x_1]_R \end{aligned}$$

и так далее (здесь R – правонормированная расстановка скобок в одночленах).

Имеют место (доказаны!) следующие утверждения.

Теорема 1. (А) Алгебра K конечна и удовлетворяет тождествам:

$$(x_1 x_2)(x_3 x_4) = 0, \quad (6)$$

[везде далее расстановка скобок в одночленах отлична от расстановки скобок в тождестве (6)]

$$[x_1(x_2 x_3)x_4]_{\delta_1} = [x_1(x_2 x_3)x_4]_{\delta_2}, \quad \delta_1 \neq \delta_2, \quad (7)$$

$$[x_1((x_2 x_3)x_4)]_{\delta} = [x_1(x_3 x_2)x_4]_{\delta}, \quad (8)$$

$$[(x_1 x_2) x_4 x_5 x_3]_R = [(x_1 x_2) x_5 x_4 x_3]_R, \quad (9)$$

$$[x_3 x_4 x_5 (x_1 x_2)]_L = [x_3 x_5 x_4 (x_1 x_2)]_L, \quad (10)$$

$$[(x_1 x_2) R^n(x_3) x_4]_R = [(x_1 x_2) R(x_3) x_4]_R, \quad n \in \mathbf{N}, n > 1, \quad (11)$$

$$[x_4 (x_1 x_2) L^n(x_3)]_L = [x_4 (x_1 x_2) L(x_3)]_L, \quad n \in \mathbf{N}, n > 1, \quad (12)$$

$$[x_1 \rightarrow u R^n(x_3) x_4]_R = [x_1 \rightarrow u R(x_3) x_4]_R, \quad n \in \mathbf{N}, n > 1, \quad (13)$$

$$[x_4 L^n(x_3) u \leftarrow x_2]_L = [x_4 L(x_3) u \leftarrow x_2]_L, \quad n \in \mathbf{N}, n > 1, \quad (14)$$

$$\begin{aligned} & [x_1 \hat{x}_3 \bar{u} x_2]_{\delta_1} + [x_2 \hat{x}_3 \bar{u} x_1]_{\delta_2} + [x_1 \hat{x}_2 \bar{u} x_3]_{\delta_3} + \\ & + [x_3 \hat{x}_2 \bar{u} x_1]_{\delta_4} + [x_2 \hat{x}_1 \bar{u} x_3]_{\delta_5} + [x_3 \hat{x}_1 \bar{u} x_2]_{\delta_6} = 0, \quad u = x_4 x_5, \end{aligned} \quad (15)$$

[к примеру, при некоторой расстановке скобок δ равенство

$$\begin{aligned} & [x_1 x_3 (x_4 x_5) x_2]_{\delta} + [x_2 x_3 (x_5 x_4) x_1]_{\delta} + [x_1 (x_4 x_5) x_2 x_3]_{\delta} + \\ & + [x_3 x_2 (x_4 x_5) x_1]_{\delta} + [x_2 (x_4 x_5) x_1 x_3]_{\delta} + [x_3 x_1 (x_5 x_4) x_2]_{\delta} = 0 \end{aligned}$$

есть одно из тождеств вида (13)]

где операторы L (или R) – описывают левонормированную (соответственно правонормированную) расстановку скобок; u (или $\bar{u}$) – начала соответствующих одночленов; δ_j – некоторая расстановка скобок в j -м одночлене.

(В) Других тождеств, независимых от тождеств (5) – (15), в алгебре K не существует.

Замечание. Вид тождеств (6) – (15) позволяет назвать построенную алгебру K «почти ассоциативной», кроме того, на отдельных элементах этой алгебры тождество ассоциативности выполняется.

Ниже будет доказано, что вопрос о шпехтовости таких алгебр решается отрицательно. Конец замечания.

Для каждого натурального n построим многочлен, который обозначим T_n или $T_n = st(x_1, x_2, [y_1, \dots, y_n], x_3)_R$. Многочлен T_n получается из стандартного симметрического многочлена $st(x_1, x_2, x_3)$, если в каждом его ассоциативном одночлене между предпоследней и последней переменной, считая слева, вставить ассоциативное слово $[y_1, \dots, y_n]$, а затем в каждом получившемся одночлене расставить скобки правонормированным способом.

Лемма 0. Равенство $T_n = 0$ не является тождеством алгебры K ни при каком $n > 1$.

Пусть система многочленов I состоит из счетного числа многочленов $\{T_n\}$, $n = 1, 2, 3, \dots$. Построим фактор-алгебру $K^* = K/I(K)$, где $I(K)$ – идеал алгебры K , порожденный множеством значений многочленов из I на элементах алгебры K .

Лемма 1. Идеал $I(K)$ состоит из четного числа слагаемых вида $e_i e_j$, где индексы $i, j \in \{1, 2\}$.

Лемма 2. Алгебра K^* содержит ровно 7 ненулевых элементов.

Теорема 2. Идеал тождеств $T(K^*)$ нельзя породить никакой конечной системой тождеств. Идеал $T(K^*)$ порождается бесконечной системой тождеств

Теорема 3. Алгебра K^* минимальна по мощности среди всех подобных алгебр.

Открытые вопросы

1. Проблема существования критерия (или алгоритма) распознавания конечной базисуемости надалгебры свободной ассоциативной алгебры над полями фиксированной характеристики.
2. Критерий наследственности свойств конечной (бесконечной) базисуемости объединений многообразий.
3. Существуют ли существенно бесконечно базисуемые (СББ) правоальтернативные алгебры?
4. Найти все пространства, вложенные в ассоциативные алгебры, имеющие конечный базис тождеств.
5. Найти все СББ векторные пространства, вложенные в ассоциативную алгебру.

Рассмотренная проблематика имеет продолжение в других областях алгебры и ее приложений, всвязи с чем, обратим внимание на работы автора из смежных областей [36-46].

Библиографический список

1. Lyndon R.C. Identities in finite algebras // Proc. Amer. Math. Soc. 1954. v. 5, № 1. P. 8-9.
2. Perkins P. Bases of equational theories of semigroups // J. Algebra. 1969. v. 11, № 2. P. 293-314.
3. Vaughan-Lee M.R. Laws in finite loops // Algebra Universalis. 1979. Vol. 9, № 3. P. 269-280.
4. Полин С.В. О тождествах конечных алгебр // Сибирский матем. журнал. 1976. Т. 17, № 6. С. 1356-1366.
5. Мурский В.Л. О числе k -элементных алгебр с одной бинарной операцией без конечного базиса тождеств // 1979. Проблемы кибернетики. Т. 35, № 1. С. 5-27.
6. Сапир М.В. Проблемы бернсайдовского типа и конечная базисуемость в многообразиях полугрупп // 1987. Изв. АН СССР, сер. матем. Т. 51, № 2. С. 319-340.
7. Сапир М.В. Существенно бесконечно базисуемые конечные полугруппы // 1987. Матем. сборник Т. 133(175), № 2. С. 154-166.

8. Ольшанский А.Ю. О проблеме конечного базиса тождеств в группах // Изв. АН СССР. Сер. матем., 34:2 (1970), С. 376–384.
9. Адян С.И. Бесконечные неприводимые системы групповых тождеств // Изв. АН СССР. Сер. матем., 34:4 (1970), С. 715–734.
10. Исаев И.М. Существенно бесконечно базируемые многообразия алгебр // Сибирский матем. журнал. 1989. Т. 30, № 6. С. 75–77.
11. Tarski A. Equational logic and equational theories of algebras // Contributions to Math. Logic (Colloquium, Hannover, 1966). North-Holland. P. 275–288.
12. McKenzie R. Tarski's finite basis problem is undecidable Internat. // J. Algebra Comput. 1996. v. 6, № 1. P. 49–104.
13. Мальцев Ю.Н., Парфенов В.А. Пример неассоциативной алгебры, не допускающей конечного базиса тождеств // Сибирский матем. журнал. 1977. Т. 18. № 6.
14. Львов И.В. Конечномерные алгебры с бесконечными базисами тождеств // Сибирский матем. журнал. 1978. Т. 19, № 1. С. 91–99.
15. Macdonald S.O., Vaughan-Lee M.R. Varieties that make one Cross, // J. Austral. Math. Soc. 1978. Vol. 26, № 3. P. 368–382.
16. Specht W. Gesetze in Ringen // Math. Z. 1950. Vol. 52. P. 557–589.
17. Львов И.В. О многообразиях ассоциативных колец // I, Алгебра и логика 12, 1973, с. 266–297.
18. Латышев В.Н. Конечная базируемость тождеств некоторых колец // УМН, 32:4(196), 1977, С. 259–260.
19. Кемер А. Р. Конечная базируемость тождеств ассоциативных алгебр // Алгебра и логика. 1987. Т. 26, № 5. С. 597–641.
20. А. Я. Белов, Контрпримеры к проблеме Шпехта, Матем. сб., 191:3 (2000), 13–24.
21. Пчелинцев С. В. Об одном почти шпехтовом многообразии центрально-метабелевых альтернативных алгебр над полем характеристики 3 // Матем. сб. 2000. Т. 191, № 6. С. 127–144.
22. Коуровская тетрадь (Нерешенные проблемы теории групп). 17-е изд. Новосибирск: ИМ СО РАН, 2010. 219 с.
23. Isaev I.M. Finite algebras with no independent basis of identities // Algebra Universalis. 1997. Vol. 37, AM. P. 440–444.
24. Исаев И.М., Кислицин А.В. Пример простой конечномерной алгебры, не имеющей конечного базиса тождеств // Доклады Академии наук. 2012. Т. 447, № 3. С. 1–2.
25. Дорофеев Г.В. О нильпотентности правоальтернативных колец // Алгебра и логика. 1970. Т. 9, № 3. С. 302–305.
26. R. Kruse, Identities satisfied by a finite ring, J. Algebra, 26:2 (1973), С. 298–318
27. Львов И. В. О многообразиях ассоциативных колец. I, Алгебра и логика, 12:3 (1973), С. 269–297
28. Размыслов Ю.П. О конечной базируемости тождеств матричной алгебры второго порядка над полем характеристики нуль, Алгебра и логика, 12:1 (1973), С. 81–113.
29. Белов А. Я. Проблема Куроша, теорема о высоте, нильпотентность радикала и тождество алгебраичности, Фундамент. и прикл. матем., 13:2 (2007), С. 3–29
30. Полин С. В. Тождества алгебры треугольных матриц, Сиб. матем. ж., 21:4 (1980), С. 206–215.
31. Ю.Н. Мальцев, “Базис тождеств алгебры верхних треугольных матриц”, Алгебра и логика, 10:4 (1971), С. 393–400.
32. Aschenbrenner M., Hillar Ch. J. Finite generation of symmetric ideals, Trans. Am. Math. Soc., 359:11 (2007), С. 5171–5192
33. Миронов В.В. Объединение одночленных многообразий алгебр // Матем. заметки. 1984. Т. 35. № 6. С. 789–794.
34. Миронов В.В. Отсутствие конечного базиса тождеств свободных 2-ступенно разрешимых алгебр конечной степени свободы // Матем. заметки. 1988. Т. 43. № 3. С. 320–326.
35. Жевлаков К.А., Слинько А.М., Шестаков И.П., Ширшов А.И. Кольца, близкие к ассоциативным. М.: Наука, 1978.
36. Миронов В.В. Об одном свойстве многообразия коммутативных алгебр // Деп. ВИНТИ АН СССР, 1985. № 965–85. 6 С.
37. Миронов В.В. Алгоритмическое обеспечение классической задачи двух тел/ Деп. ВИНТИ АН СССР, 1986. № 1015–В86. 7 С.
38. Миронов В.В. Свойство вложимости свободных алгебр ν -многообразий и многообразия разрешимых алгебр/ Деп. ВИНТИ АН СССР, 1986. № 1014–В86. 9 С.
39. Миронов В.В. Тождества в многообразиях алгебр/ Деп. ВИНТИ АН СССР, 1986. № 1016–В86. 5 С.
40. Миронов В.В., Чураков Е.П. Вычисление фундаментальной матрицы системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами // Известия вузов. Математика. 1987. № 10. С. 78.

41. Миронов В.В. Вложение свободной достижимой алгебры от счетного числа свободных порождающих в свободную достижимую алгебру от двух свободных порождающих // Сибирский математический журнал. 1988. № 2. С. 215.
42. Миронов В.В. Сильнополиномиальный алгоритм решения общей задачи наименьших модулей. Часть I. Обоснование. // Сибирский журнал вычислительной математики. 2010. Т. 13. №2. С.161-174.
43. Миронов В.В. Сильнополиномиальный алгоритм решения общей задачи наименьших модулей. Часть II. Сложность. // Сибирский журнал вычислительной математики. 2010. Т. 13. №2. С.174-181.
44. Миронов В.В. Фундаментальные математические проблемы. Комментарии (Пленарный доклад) / XXVIII Междунардн. научн. конф. «Математические методы в технике и технологиях» Рязань, 2015. С. 3-12.
45. Valentin V. Mironov, Specificity of communication teacher-student in informational and technological era // SHS Web of Science Conferences, 9, 02028 (2016) DOI: 10.1051 /shsconf/ 2016 EEIA, 2016 2 2902028/
46. Valentin V. Mironov, Alexandr I. Zavolokin and Aleksey K. Rozanov, Preparing electronic handbook for using active grammar during process of translation of technical texts into English // SHS Web of Science Conferences, 9, 02029 (2016) DOI: 10.1051 /shsconf/ 2016 EEIA, 2016 2 2902029/

УДК 629.1:519.7; ГРНТИ 50.49.3

ПРОБЛЕМА ВЫБРОСОВ ИЗМЕРЕНИЙ В АПРИОРНОМ ГАРАНТИРУЮЩЕМ ОЦЕНИВАНИИ

В. Миронов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, mironov.v.v@rsreu.ru*

Аннотация. Предложена новая вычислительная процедура априорного оценивания точности при определении параметров линейных моделей. По условию ошибки измерений подвержены неизвестной корреляции. Возможны также неограниченные выбросы измерений. Решена модельная задача. В рамках конкретного примера решена задача о доле «плохих» корреляций в задаче минимизации ошибки оценивания.

Ключевые слова. Оценивание параметров, неизвестная корреляция, выбросы измерений.

THE PROBLEM OF MEASURING EMISSIONS IN A PRIORI GUARANTEEING ESTIMATION

V. Mironov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, mironov.v.v@rsreu.ru*

Abstract. A new computational procedure for a priori estimation of accuracy in determining the parameters of linear models is proposed. By the condition, measurement errors are subject to unknown correlation. Unlimited emissions of measurements are also possible. The model problem is solved. Within the framework of a concrete example, the problem on part of "bad" correlations in the problem of minimizing estimation error is solved.

Keywords. Estimation of parameters, unknown correlation, emission of measurements

Введение

На современном этапе развития вычислительных комплексов, обеспечивающих полет космических аппаратов (КА), предметом интенсивных теоретических исследований и активной программной реализации является создание процедур, гарантированно обеспечивающих результат при любых сопутствующих условиях [1, 2]. Традиционно в классических процедурах по оцениванию параметров погрешности измерений считаются случайными величинами с заданными вероятностными характеристиками. Однако в целом ряде прикладных задач (в частности – космических) такое допущение об ошибках измерений не соответствует реальным экспериментам и при использовании стандартного программного обеспечения приводит к неоправданному оптимизму в оценке точности проводимых расчетов [3]. Как следствие открывшихся реалий в теории гарантирующего оценивания считается заданным множество возможных значений ошибок исходных данных или характеристик их распределения. В этих условиях решаются задачи оценивания параметров моделей и систем и вычисления надежных значений характеристик точности. Получаемые при гарантирующем оценивании зани-

женные (в сравнении с классическим вариантом) оценки точности в ряде практических задач являются предпочтительными.

Рассмотренная в [3] задача априорного гарантирующего оценивания точности существенно усложняется, если ввести типичное для практических приложений условие сбоев измерений. Например, в космических экспериментах такой «недостовой» измерительной информации может быть до 50% всей совокупности измерений, в особенности на старте ракеты с КА на борту. Следовательно, еще до проведения эксперимента необходимо предусмотреть реакцию системы на такие сбои.

В работе [4] предложен метод в решении проблемы гарантирующего оценивания параметров в случае однократного сбоя измерений в т.н. схеме «бортика» и некоторых обобщающих постановках.

В данной работе в развитие работ автора [5-19] решена проблема априорного гарантирующего оценивания с учетом произвольного числа неограниченных сбоев измерений.

Постановка задачи

Рассмотрим проблему с формальной стороны. Реальному эксперименту соответствует скалярная модель наблюдений

$$z_k = h_k^T q + \rho_k, \quad k = \overline{1, N}. \quad (1)$$

где $q \in \mathbf{R}^m$ - вектор состояния некоторой системы;
 N - число измерений, размерность $m < N$;
 h_k - заданные векторы;
 T - оператор транспонирования;
 z_k - измерения;
 ρ_k - неизвестные ошибки измерений (векторы перемножаются как матрицы).
 Модель (1) представим в компактной форме

$$z = H^T q + \rho, \quad (2)$$

где векторы z , ρ и матрица H^T имеют естественное содержание.

Имеется также интересующий исследователя некоторый скалярный параметр l , линейно связанный с вектором состояния: $l = a^T q$, где a - заданный вектор, определяющий количественную сторону этой связи.

Оценка $\hat{l}$ параметра l находится с помощью линейного несмещенного оценивателя (фильтра) $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)^T$ по результатам измерений: $\hat{l} = x^T z$. Ошибка оценки (точность оценивания) есть [по определению и в силу (2)] величина $\delta l = \hat{l} - l = (Hx - a)^T q + x^T \rho = x^T \rho$, т.к., напомним, фильтр x несмещен:

$$Hx = a. \quad (3)$$

По условию выполнены следующие «минимальные» гипотезы о математическом ожидании и среднем квадратическом отклонении (СКО) ошибок измерений:

$$E \rho_k = 0, \quad 2) \quad \sigma \rho_k \leq r_k, \quad (4)$$

где r_k - заданные положительные действительные числа.

Случай возможных сбоев измерений формально характеризуется тем, что вместо параллелепипеда (4) множество, которому принадлежит вектор СКО ошибок измерений $\sigma \rho = (\sigma \rho_1, \sigma \rho_2, \dots, \sigma \rho_N)^T$, составляет множество P :

$$P = \bigcup_{k=1}^N P(k), \quad (5)$$

где подмножество

$$P(k) = \{\sigma\rho \in \mathbf{R}^N \mid \sigma\rho_j \leq r_j, \quad j = \overline{1, N}, j \neq k\}. \quad (6)$$

Каждое из $P(k)$ является бесконечным цилиндром с прямоугольным сечением и осью, ориентированной по координатной оси (Ox_k). СКО ошибок измерений принадлежали бы множеству $P(k)$, если было бы известно, что сбой произошел именно в k -ом измерении. Однако такой информации нет.

В то же время по условию известно, что среди N измерений имеется не более s выбросов, $0 \leq s \leq N-m$. Последнее неравенство призвано обеспечить единственность решения. Таким образом, множество P распадается на C_N^s неограниченных подмножеств возможных значений ошибок измерений.

Замечание 1. В контексте проблемы «бесконечно большой» сбой измерений означает, что измерение может выйти за границы шкалы измерений. Если цену деления шкалы увеличить, то сбой также возможен и т.д. Для моделирования этой ситуации полагают, что формально сбой может быть бесконечно большим.

Замечание 2. Борьба с апостериорными «бесконечно большими» ошибками измерений состоит в том, что такие измерения просто изымаются из рассмотрения. Конец замечания.

Задача гарантированного оценивания точности в определении параметра l без учета выбросов в принятых обозначениях имеет следующий вид.

Задача 1. Найти экстремум и его аргументы

$$\delta l_\Gamma = \min_x \max_{\sigma\rho_k} \sigma\delta l \quad (7)$$

Число N [неявно присутствующее в (7)] называется размерностью задачи 1. Наличие в i -й момент времени бесконечно большого выброса означает, что $r_i = \infty$ и этот момент времени необходимо исключить из общей совокупности моментов измерений. Соответственно необходимо исключить (обнулить) i -ю координату вектора x . Однако сам i -й момент времени бесконечно большого выброса неизвестен. Пусть вектор $\bar{x}$ обозначает ненулевой подвектор вектора x размерности $\dim \bar{x} = s$.

Задача 2 (задача гарантированного оценивания точности с учетом выбросов). Найти экстремум и его аргументы

$$\delta l_\Gamma = \min_x \max_{\bar{x}} \max_{\sigma\rho_k} \sigma\delta l \quad (8)$$

Для решения задачи 2 необходимо прежде решить задачу 1.

Надежное решение задачи 1

Нетрудно видеть, что в силу (4)

$$\sigma\delta l = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N k_{ij} x_i x_j} \leq \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N r_i r_j |x_i| |x_j|} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^N r_i |x_i| \right)^2} = \sum_{i=1}^N r_i |x_i|. \quad (9)$$

Известно, что знак нестрогого неравенства в (9) строгим сделать нельзя [3]. Следовательно, гарантированную точность оценивания (7) можно вычислить как

$$\delta l_\Gamma = \min_x \left\{ \sum_{i=1}^N r_i |x_i| \right\}. \quad (10)$$

при условии

$$Hx = a, \quad (11)$$

где H - заданная действительная матрица размером $m \times N$ со строками $A_1, \dots, A_m$. По условию полагаем (в соответствии с характером многих технических задач), что ранг матрицы $\text{rank } H = m$ и что вектор $a \neq 0$. Последнее означает, что

$$(\exists i) a_i \neq 0. \quad (12)$$

Без ограничения общности можно считать, что в предикате (12) индекс $i=1$ [в противном случае можно переставить соответствующие строки в уравнении (11)].

Уравнение (11) определяет плоскость α размерности $N-m$. Пучок плоскостей Π , проходящих через плоскость α , можно задать системой линейных уравнений

$$\Pi: \{\lambda_i(A_1x - a_1) + \mu_i(A_{i+1}x - a_{i+1}), \quad i = \overline{1, m-1}\}. \quad (13)$$

где $(\forall i) \lambda_i, \mu_i \in \mathbf{R} \ \& \ \lambda_i^2 + \mu_i^2 \neq 0$. Необходимое и достаточное условие того, что некоторая плоскость β из пучка Π проходит через начало координат, имеет вид

$$\{-\lambda_i a_1 + \mu_i a_{i+1} = 0, \quad i = \overline{1, m-1}\}. \quad (14)$$

Из условия $a_1 \neq 0$ следует, что $(\forall i) \mu_i \neq 0$. Действительно, если $(\exists k) \mu_k = 0$, то в силу (14) $\lambda_k = 0$. Но тогда $\lambda_k^2 + \mu_k^2 = 0$, что противоречит (13). Следовательно, без ограничения общности можно считать истинным предикат $(\forall i) \mu_i = 1$. Тогда из (14) следует

$$\{\lambda_i = -a_{i+1}/a_1, \quad i = \overline{1, m-1}\}. \quad (15)$$

Сама же плоскость β с учетом (15) будет определяться системой уравнений

$$\beta: \{(\lambda_i A_1 + A_{i+1})x = 0, \quad i = \overline{1, m-1}\}. \quad (16)$$

Рассмотрим в пространстве $\mathbf{R}^N$ две нормы вектора $x = (x_1, \dots, x_N)^T$ (в дальнейшем одними символами обозначаются нормы в арифметическом пространстве $\mathbf{R}^N$ и соответствующие метрики в аффинном пространстве $\mathbf{A}^N = \langle O; \mathbf{R}^N \rangle$):

$$\|x\|_1 = \sum_{i=1}^N r_i |x_i|, \quad \|x\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2}.$$

Определим в пространстве $\mathbf{A}^N$ многогранник S равенством

$$\|x\|_1 = a_0, \quad (17)$$

где положительное действительное число a_0 выбирается таким образом, чтобы пересечение

$$S \cap \alpha = \emptyset. \quad (18)$$

В $\mathbf{A}^N$ существует единственная прямая l , проходящая через начало координат перпендикулярно к плоскости α . Направляющий вектор n_l прямой l есть [6]:

$$n_l = \vec{OL} = A^T(AA^T)^{-1}a. \quad (19)$$

Определим вектор $s = (s_1, \dots, s_N)^T$, где $(\forall i) s_i = \text{sign}(L_i)$, а $\text{sign}(\dots)$ – стандартная функция знака. Определим плоскость δ как пересечение плоскости β (16) с граничной гиперплоскостью ε многогранника S , определяемой уравнением

$$\varepsilon: s^T X = a_0. \quad (20)$$

Очевидно, что пересечение $(OL) \cap \varepsilon \neq \emptyset$. Как следствие (16), (20) плоскость δ определяется системой уравнений

$$\delta: \begin{cases} s^T x = a_0, \\ (\lambda_i A_1 + A_{i+1})x = 0, \quad i = \overline{1, m-1}. \end{cases} \quad (21)$$

Систему (21) представим в матричном виде

$$Dx = d \quad (22)$$

при естественных обозначениях.

Построим далее точки $C(C_1, \dots, C_N)$ и $P(P_1, \dots, P_N)$ следующим образом: $(OC) \perp \delta$, $C \in \alpha$; $(OP) \perp \delta$, $P \in \delta$. По аналогии с (19)

$$\vec{OP} = D^T (DD^T)^{-1} d. \quad (23)$$

Имеем: $\beta = (\alpha, O) = (\delta, O)$, $P \in \delta \Rightarrow P \in \beta \Rightarrow (OP) \cap \alpha \neq \emptyset$. В силу единственности $C = (OP) \cap \alpha$. Очевидно, что $\vec{OC} = \lambda \vec{OP}$ и $\lambda \neq 0$. Если точка P имеет координаты $P(P_1, \dots, P_N)$, то $(\forall i) C_i = \lambda P_i$, а координаты P_i находятся по (23). Координаты точки C являются решением уравнения (11). Следовательно, $A_1 \cdot \vec{OC} = a_1$, $\lambda A_1 \cdot \vec{OP} = a_1$. Так как $\lambda \neq 0$ и $a_1 \neq 0$, то

$$\lambda = a_1 / A_1^T \vec{OP}, \quad \vec{OC} = \lambda \vec{OP}. \quad (24)$$

Определение 1. Пусть τ – произвольная плоскость из пучка плоскостей Ω , параллельных α , $F = (OL) \cap \tau$, $E = (OC) \cap \tau$, при этом $E \in [OC]$, $F \in [OL]$. Вектор $\vec{EF}$ назовем уклонением τ от начального положения α . Если M – подмножество $\mathbf{A}^N$, то мерой уклонения M от α назовем величину $\max_{\tau} \{\|\vec{EF}\|_2 : \tau \cap M \neq \emptyset\}$.

Разложим пространство $\mathbf{A}^N$ в прямую сумму ортогональных подпространств $\mathbf{A}^N = \alpha \oplus \bar{\alpha}$. Если $N-m$ – размерность плоскости α , то, очевидно, m – размерность плоскости $\bar{\alpha}$. Так как S является симплексом в $\mathbf{A}^N$, то из «геометрических соображений» ясно, что касание многогранника S^* , определяемого равенством $\|x\|_1 = c$, $c \in \mathbf{R}$ (и, следовательно, гомотетичного многограннику S) и плоскости α произойдет при некотором $c=c_0$ в точке, принадлежащей линейному граничному подмножеству π^* многогранника S^* размерности $m-1$. Следовательно, в описании подмножества π^* с необходимостью присутствуют равенства

$$x_i = 0, \quad (25)$$

где индекс i пробегает некоторые $N-m$ значений из начального ряда $\{1, 2, \dots, N\}$.

Для простоты изложения будем полагать, что подмножество π^* единственно. Касание многогранника S и некоторой плоскости α^* из пучка Ω произойдет в точке, принадлежащей линейному граничному подмножеству π многогранника S размерности $m-1$. Нетрудно видеть, что в силу свойств S и S^* , α и α^* подмножество π гомотетично подмножеству π^* . При

этом для описания π используются те же самые условия (25). Следовательно, с учетом этой связи π и π^* справедлива

Теорема 1. *Подмножество π имеет наибольшую меру уклонения среди всех граничных подмножеств многогранника S размерности $m-1$.*

Соответствующее плоскости α^* уклонение обозначим $\vec{EF}$. В силу определения точек E и F координатные гиперплоскости не пересекают отрезок $[EF]$. Как следствие, если точки E и F имеют координаты $E(E_1, \dots, E_N)$ и $F(F_1, \dots, F_N)$, то

$$(\forall i) \operatorname{sign} E_i = \operatorname{sign} F_i. \quad (26)$$

Пусть M - такая текущая точка на луче $[EF]$, что мера уклонения $\|\vec{EF}\|_2 \leq \|\vec{EM}\|_2$.

Следовательно, $\vec{EM} = \lambda \vec{EF}$ и $\lambda \geq 1$. При возрастании λ от его начального значения $\lambda = 1$ найдется такое $\lambda = \lambda_0$, что соответствующая точка M «впервые» попадет на некоторую координатную гиперплоскость χ_k , определяемую уравнением

$$x_k = 0, \quad (27)$$

для некоторого $1 \leq k \leq N$. Тогда в силу определения π верно $\pi \subset \chi_k$. Следовательно, условие (27) войдет в серию условий (25) для описания π . Так как $\vec{CL} \uparrow \vec{EF}$, то при движении текущей точки по лучу $[CL]$ точка M «впервые» попадет на ту же координатную гиперплоскость χ_k . Найдем χ_k .

Имеем:

$$\vec{CL} = (\dots, L_i - C_i, \dots), i = \overline{1, N}; \quad \vec{CM} = (\dots, \lambda(L_i - C_i), \dots) = (\dots, M_i - C_i, \dots);$$

$$(\forall i) \lambda(L_i - C_i) = M_i - C_i; (\forall i) M_i = \lambda(L_i - C_i) + C_i; M_i = 0 \Leftrightarrow \lambda(L_i - C_i) + C_i = 0.$$

Далее, если $L_i - C_i \neq 0$, то $\lambda = C_i / (C_i - L_i)$. Если $L_i - C_i = 0$, то $(\forall \lambda) M_i = C_i$. Таким образом, индекс k в (27) определяется следующим образом:

$$k = \arg \min_i \{C_i / (C_i - L_i) > 0\}. \quad (28)$$

Задача отыскания индекса (28) может быть легко решена простым перебором случаев. Если индекс k найден, то, положив в (11) $x_k = 0$, уменьшив размерность задачи (10), (11) на единицу.

Следовательно, не более чем за $N-m$ шагов задача (10), (11) примет следующий вид (при естественном переобозначении индексов): найти

$$\sum_{i=1}^m r_i |x_i| \quad (29)$$

при условии

$$H_0 x = a, \quad (30)$$

где H_0 - невырожденная подматрица размером m^2 матрицы H . Задача (29), (30) имеет очевидное решение. Вместе с ней будет решена и задача 1:

$$\delta l_T = \left(\|H_0^{-1} a\|_1 \right). \quad (31)$$

Одной из проблем теории гарантирующего оценивания является проблема зацикливания [3]. Предложенная процедура решения задачи 1 по (31) решает эту проблему. А именно, имеет место следующая теорема о надежности предложенной процедуры.

Теорема 2. Процедура свободна от заикливания.

Доказательство. На каждом шаге процедуры происходит отбрасывание некоторого индекса. Возврат к этим отброшенным индексам невозможен в силу свойств процедуры. Следовательно, процедура не имеет заикливания. Теорема доказана.

Замечание 3. В некоторых реальных, например космических, задачах N имеет порядок десятков тысяч, а m имеет порядок единиц. Следовательно, алгоритм должен проработать несколько десятков тысяч раз. Однако в силу небольшого порядка числа m все трудоемкие операции над матрицами (19), (23), (31) проходят очень быстро.

Кроме того, алгоритмически нет необходимости на каждом этапе цикла алгоритма вычислять координаты точек C , L с помощью операций над матрицами по формулам (19), (23).

Действительно, пусть k – индекс, найденный по формуле (28), а Γ_k – координатная гиперплоскость, определяемая уравнением $x_k = 0$. Уравнение (11) определяет плоскость α . Положим по определению, что плоскость $\alpha_k = \alpha \cap \Gamma_k$. В силу условия на ранг матрицы H в (11) пересечение $\alpha_k \neq \emptyset$. Имеем: $\alpha_k \subset \alpha$, прямая $(OL) \perp \alpha$. Следовательно,

$$(OL) \perp \alpha_k. \quad (32)$$

Пусть точка D – ортогональная проекция точки L на гиперплоскость Γ_k . Очевидно, что $\alpha_k \subset \Gamma_k$. Прямая $(LD) \perp \Gamma_k$. Следовательно,

$$(LD) \perp \alpha_k. \quad (33)$$

Из (32), (33) следует, что прямая $(OD) \perp \alpha_k$. Если $L^{(k)} = (OD) \cap \alpha_k$, то прямая $(OL^{(k)}) \perp \alpha_k$. Координаты же точки $L^{(k)}$ вычисляются тривиально: если точка L имеет координаты $L(L_1, L_2, \dots, L_N)$, то точка D имеет координаты $D(L_1, L_2, \dots, L_{k-1}, 0, L_{k+1}, \dots, L_N)$ и

$$\vec{OL}^{(k)} = \frac{a_1}{A_1 \cdot \vec{OD}} \vec{OD}. \quad (34)$$

Пусть точка K – ортогональная проекция точки P на гиперплоскость Γ_k . Плоскость δ – центральная проекция плоскости α на плоскость ε вдоль плоскости β . Следовательно, $\delta \subset \varepsilon$. Пусть по определению $\varepsilon_k = \Gamma_k \cap \varepsilon$, $\delta_k = \Gamma_k \cap \delta$. В силу свойств «образующих» плоскостей $\varepsilon_k \neq \emptyset$, $\delta_k \neq \emptyset$. Имеем: $\delta_k \subset \delta$, прямая $(OP) \perp \delta$. Следовательно,

$$(OP) \perp \delta_k. \quad (35)$$

Очевидно, что $\delta_k \subset \Gamma_k$. Прямая $(PK) \perp \Gamma_k$. Следовательно,

$$(PK) \perp \delta_k. \quad (36)$$

Из (35), (36) следует, что прямая $(OK) \perp \delta_k$. Нетрудно видеть, что δ_k является центральной проекцией α_k на ε_k вдоль плоскости $\beta_k = \beta \cap \Gamma_k$. Следовательно, существует точка $C^{(k)} = (OK) \cap \alpha_k$. Координаты же точки $C^{(k)}$ вычисляются тривиально: если точка P имеет координаты $P(P_1, P_2, \dots, P_N)$, то точка K имеет координаты $K(P_1, P_2, \dots, P_{k-1}, 0, P_{k+1}, \dots, P_N)$ и

$$\vec{OC}^{(k)} = \frac{a_1}{A_1 \cdot \vec{OK}} \vec{OK}. \quad (37)$$

Найдя по формулам (34), (37) координаты точек $C^{(k)}$ и $L^{(k)}$, построим «новый» вектор $\overrightarrow{CL}$, в котором $C^{(k)} = C$ и $L^{(k)} = L$. Тем самым этап цикла будет завершен. Конец замечания.

Решение задачи 2

Предложенное надежное решение задачи 1 позволяет решить изначальную задачу 2. Геометрически учет выброса означает следующее.

Равенство

$$\sum_{i=1}^N r_i |x_i| = a_0, \quad a_0 > 0 \quad (38)$$

определяет в пространстве A^N многогранник S с вершинами на осях координат (Ox_i) в точках $x_i = a_0/r_i$. Следовательно, при бесконечно большом выбросе $x_i = 0$ и многогранник S превращается в многогранник $S_i = S \cap \beta_i$, где β_i – гиперплоскость, определяемая одним уравнением $x_i = 0$.

Далее, на каждом шаге построенной процедуры решения задачи 1 отбрасывается одна из переменных, не участвующая в записи оптимального решения. Напомним, что оптимальное решение задачи содержит $N-m$ нулевых координат. Следовательно, за $N-m$ шагов можно упорядочить переменные $x_1, x_2, \dots, x_N$ некоторым отношением порядка «<»:

$$\{y_1, y_2, \dots, y_m\} < z_1 < z_2 < \dots < z_{N-m}, \quad (39)$$

где z_{N-m} – переменная, отбрасываемая на 1-м шаге процедуры;

z_{N-m-1} – переменная, отбрасываемая на 2-м шаге процедуры и т.д.;

z_1 – переменная, отбрасываемая на $(N-m)$ -м шаге процедуры;

переменные $y_1, y_2, \dots, y_m$ из множества $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ образуют оптимальное решение задачи 1.

Геометрически оформленное в (39) решение задачи 1 означает, что найдена точка M_1 касания многогранника S при $a_0 = a_1$ и плоскости α , причем точка M_1 лежит на граничном (поверхностном) линейном подмножестве π_1 многогранника S . Напомним, что размерность π_1 равна $m-1$.

Будем увеличивать значение $a_0 > a_1$ в (17). Тогда при некотором $a_0 = a_2$ произойдет «второе касание» (формально – пересечение) многогранника S и плоскости α по «второму» граничному линейному подмножеству π_2 той же размерности $m-1$ в точке M_2 . У точки M_2 , как и у точки M_1 , по крайней мере $N-m$ координат равны нулю. Продолжая этот процесс, построим (конечную) последовательность граничных подмножеств

$$\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_k \quad (40)$$

и соответствующую последовательность «точек касания»

$$M_1, M_2, \dots, M_k \quad (41)$$

Процесс построения последовательностей (40), (41) будем продолжать до тех пор (k – последний шаг процедуры), пока впервые среди ненулевых координат всех точек M_i будут присутствовать $m+s$ переменных $t_1, t_2, \dots, t_{m+s} \in \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ (s – число выбросов измерений) таких, что для любого набора m переменных $u_1, u_2, \dots, u_m \in \{t_1, t_2, \dots, t_{m+s}\}$ среди (41) найдется точка M_j с ненулевыми координатами $u_1, u_2, \dots, u_m$.

Из проведенных рассуждений и из определения точки M_k мгновенно следует

Теорема 3. Координаты точки M_k являются решением задачи 2.

Как найти координаты точки M_k ? Решение этой подзадачи состоит из следующих k шагов.

Шаг № 1. Находим координаты точки M_1 как решение задачи 1.

Шаг № j ($2 \leq j \leq k$). Если $y_1, y_2, \dots, y_m$ – ненулевые координаты точки M_{j-1} , найденной на предыдущем шаге, то точку M_j можно найти следующим образом.

Положим в (39) $y_i = 0$ для $i = \overline{1, m}$ и последовательно решим m задач 1 размерности $N-1$. Соответственно будут найдены m оптимальных точек $K_1, K_2, \dots, K_m$. В этих точках целевая функция (10) примет значения $\delta l_i = \delta l_I(K_i)$. Пусть множество Δ составят все значения δl_i , найденные на j -м шаге и на всех предыдущих шагах, за исключением тех δl_i , по которым находились координаты точек $M_2, \dots, M_{j-1}$. Тогда из определения точки M_j следует, что

$$M_j = \arg \min \Delta.$$

Сделав k шагов, найдем, таким образом, координаты точки M_k . Следовательно, можно говорить о решении задачи 2 в целом.

Замечание 4. В т. н. оптимальный план измерений, содержащий оптимальные моменты измерений для достижения гарантированной точности, по определению включаются все переменные $t_1, t_2, \dots, t_{m+s}$, соответствующие точке M_k , в то время как собственно гарантированная точность оценивания $\delta l_I(M_k)$ будет достигаться на координатах точки M_k , из которых по крайней мере $N-m$ координат равны 0.

Замечание 5. Предложенная процедура направленного перебора случаев при поиске точки M_k при большом числе выбросов может занять достаточно долгое время, хотя и гарантирует успех. Это лишний раз подчеркивает априорный характер решения задачи.

Пример 1

Модель наблюдений имеет следующий полиномиальный вид:

$$z_k = q_1 + t_k q_2 + t_k^2 q_3 + \rho_k. \quad (42)$$

Ошибка каждого измерения имеет СКО

$$\sigma \rho_k \leq 1. \quad (43)$$

Измерения проводятся на интервале времени $T = [0, 1]$ равномерно с шагом $h_t = 0,1$, т.е. в моменты времени $t_k = 0,1; 0,2; \dots; 1,0$ ($k = \overline{1,10}$). Необходимо оценить точность оценивания предложенным линейным фильтром начальной скорости - параметра q_2 . Пусть буква s , как и ранее, обозначает число выбросов измерений, δq_2 - гарантированная оценка точности параметра q_2 , J - оптимальный план измерений.

Результаты моделирования для $0 \leq s \leq 7$ представлены в таблице (значения точности δq_2 округлены до целых долей).

Таблица 1. Результаты моделирования.

s	δq_2	J
0	11	(1, 6, 10)
1	23	(1, 3, 6, 10)
2	50	(1, 2, 4, 6, 10)
3	80	(1, 2, 3, 6, 8, 10)
4	120	(1, 2, 3, 4, 6, 8, 10)
5	170	(1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10)
6	240	(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10)
7	360	(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)

Вопрос о доле «плохих» корреляций

Пусть об ошибках измерений в модели (1) снова имеется только информация (4). Ясно, что в рамках условия (4) существует континуум «плохих» и континуум «хороших» корреляций. Придадим этим понятиям точный смысл.

Определение 2. Будем говорить, что в рамках (4) корреляция ошибок измерений хорошая, если при этой корреляции экстремум (7), а следовательно, и (10) достигается при использовании всех N моментов измерений.

Будем говорить, что в рамках (4) корреляция ошибок измерений плохая, если при этой корреляции экстремум (7), а следовательно, и (10) достигается при использовании оптимальных m моментов измерений.

Естественно задаться вопросом: какова доля плохих корреляций во множестве всех возможных корреляций? Решить эту проблему для произвольной модели (1), (4) чрезвычайно трудно (судя по публикациям, не видно и подходов к ней). В то же время в случае конкретной модели измерений на этот вопрос можно ответить с помощью компьютерного моделирования. Проиллюстрируем эту идею на следующем примере.

Пример 2

Модель измерений снова имеет вид (42). Для упрощения моделирования на ошибки измерений $\rho(t_k)$ наложено условие (схема «бортика»)

$$|\rho(t_k)| \leq 1. \quad (44)$$

Измерения проводятся на интервале времени $T = [0, 1]$ равномерно с шагом $h_T = 0,25$, т.е. в моменты t_k : $t_1 = 0,25$; $t_2 = 0,5$; $t_3 = 0,75$; $t_4 = 1$, ($k = \overline{1, 4}$). Число измерений $N = 4$. Функция l имеет линейный вид $l = q_2$, и, следовательно, точность оценивания $\delta l = \Delta q_2 = \hat{q}_2 - q_2$, где $\hat{q}_2$ - оценка параметра q_2 с помощью метода наименьших квадратов.

Неравенства (44) определяет N -мерный куб ошибок. Разобьем куб ошибок равномерно по каждой из осей с шагом дискретизации h . Каждый узел построенной решетки есть точка в 4-мерном пространстве, координаты которой и будут представлять ошибки измерений в моменты времени t_k . Далее в каждом узле вычисляется точность δl по всем 4 измерениям (величина δl_K) и по оптимальным 3 измерениям, предварительно найденным с помощью описанной процедуры. Если $\delta l_K > \delta l_\Gamma$, то корреляция ошибок хорошая, в случае $\delta l_K \leq \delta l_\Gamma$ корреляция ошибок плохая. Если N_K - число всех найденных таким образом хороших корреляций, а N_Γ - число всех найденных плохих корреляций, то число $F = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{N_\Gamma}{N_K + N_\Gamma}$ и определит долю

плохих корреляций в данном эксперименте

Результаты моделирования представлены на графике, где по оси абсцисс отложен шаг дискретизации h , по оси ординат – число F , выраженное в процентах. Объем занимаемой программой памяти ≈ 640 Kb.

Заметим, что для $h = 0,01$ время вычисления отношения $N_\Gamma / (N_\Gamma + N_K)$ - примерно 3 суток (на персональном компьютере «Pentium» с тактовой частотой 150 MHz).

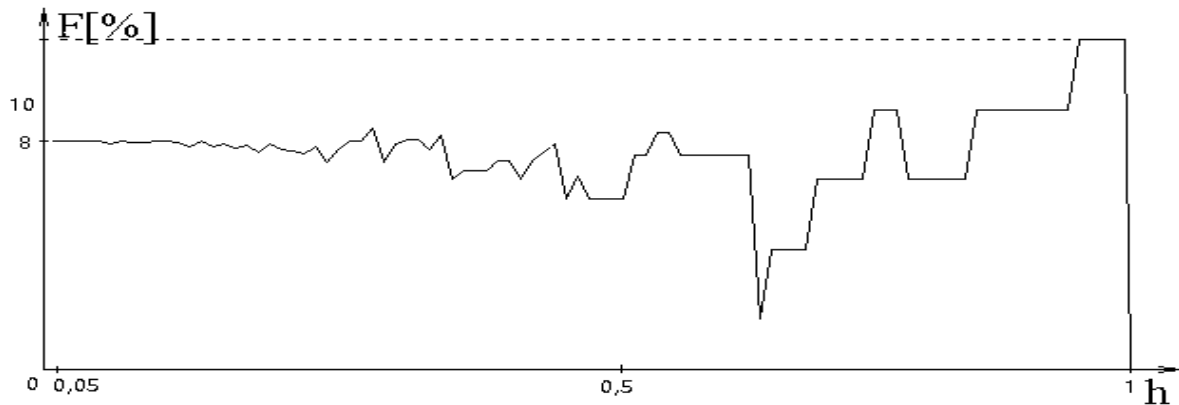


Рис. 1. Графические результаты моделирования.

Выводы

1. Получена процедура решения задачи об априорной оценке точности при определении (оценивании) параметров линейных моделей в случае, когда о помехах измерений практически ничего не известно и к тому же возможны неограниченные выбросы измерений.

2. При отсутствии классических сведений об ошибках измерений (плотность распределения, основные числовые характеристики и т.п.) если исследователя не пугает присутствие порядка 5 - 10% «плохих» корреляций, то определять априорную точность оценивания δ необходимо по всем N измерениям. Напротив, в ответственных задачах (специфика космических экспериментов!) рекомендуется более осторожная стратегия априорного оценивания с использованием только m оптимальных моментов измерений.

Библиографический список

1. Бодин Н.Б., Почукаев В.Н., Черевков К.В. и др. Новый этап в развитии САН современных КА. Задачи и возможности// Тез. докл 2-й Межд. научно-техн. конф «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика»// Рязань, 2000. С.93-96.
2. Миронов В.В. Сравнение систем регистрации космического мусора //Космич. исслед. 1996. Т.34. № 4. С. 414 - 419.
3. Лидов М.Л., Бахшиян Б.Ц., Матасов А.И. Об одном направлении в проблеме гарантирующего оценивания (обзор) //Космич. исследов.1991. Т.29. Вып. 5. С.659-684.
4. Матасов А.И. О гарантированном оценивании параметров при сбоях в измерениях //Космич. исследов.1991. Т.29. № 3.
5. Миронов В.В., Чураков Е.П. Гарантированная обработка измерений при слабом контроле помех //Вестник РГРТА. 1999. Вып.6. С. 3-7.
6. Миронов В.В., Миронова К.В., Розанов А.К. «Управление в малом» системами в плоском случае // Информатизация образования и науки. - М.: Государственный НИИ ИТ и телекоммуникаций, 2016. -№ 3(31). - С. 110-124.
7. Миронов В.В., Новикова М.Ю. Экономико-математический анализ современного этапа развития космических ракет-носителей // Экономика и математические методы. - М.: Наука, 2015. Т.51, № 4. С.96-110.
8. Mironov, V.V., A.K. Murtazov. Model of Meteoroid Risk in Near-Earth Space // Pleiades Publishing, Ltd., 2015. Vol. 53. No.6.-pp. 430-436.
9. Миронов В.В., Головастов С.В., Коробов А.Е. Математические методы исследования теплообмена в тепловых трубах. // Вестник РГРТУ. 2014. № 1 (Вып. 47). С. 120-125.
10. Миронов В.В. Датчики, системы контроля и диагностики воздействия космического мусора на космические аппараты // Датчики и системы. ИПУ РАН. 2014, № 9. С. 2-9.
11. Миронов В.В., Миронова К.В., Новикова М.Ю., Терехин В.И. Математическое моделирование развития ракетно-космической техники// Глобальный научный потенциал (Журнал ВАК № 691). 2013. №1 (22). С.69-75.
12. Миронов В.В., Мухин А.В. Методика оценки плотности космического мусора по малой выборке. // Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем. 2008. Т. 32(2). С. 234-237.
13. Миронов В.В., Мухин А.В. Системный анализ столкновений мелкого космического мусора с космическим аппаратом. // Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем. 2008. Т. 32(2). С. 320-325.

14. Миронов В.В., Мухин А.В. Прогнозирование положения спутника на орбите при неизвестных ошибках измерений и модели. // Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем. 2008. Т. 32(2). С. 238-243.
15. Миронов В.В., Мухин А.В. Суперпозиция алгоритмов априорного прогнозирования положения спутника на орбите. // Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем. 2008. Т. 32(2). С. 59-64.
16. Миронов В.В., Мухин А.В. Минимаксное оценивание точности определения параметров линейных моделей при неклассических ошибках измерений. / Сб. «Вопросы теории безопасности и устойчивости систем». Вып. 5. М.: ВЦ РАН, 2003. С. 73-87.
17. Миронов В.В. Сильнополиномиальный алгоритм решения общей задачи наименьших модулей. Часть I. Обоснование. // Сибирский журнал вычислительной математики. 2010. Т. 13. №2. С.161-174.
18. Миронов В.В. Сильнополиномиальный алгоритм решения общей задачи наименьших модулей. Часть II. Сложность. // Сибирский журнал вычислительной математики. 2010. Т. 13. №2. С.174-181.
19. Миронов В.В., Северцев Н.А. Стратегия безопасного оценивания параметров при сбоях измерений / Сб. трудов. «Вопросы теории безопасности и устойчивости систем». М.: Изд. ВЦ РАН, 2002, Вып. 4. С. 15-26.
20. Ефимов Н.В., Розендорн Э.Р. Линейная алгебра и многомерная геометрия. М.: Наука, 1970.

УДК 330.4; ГРНТИ 27.43.87

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМНЫХ КОМПОНЕНТ ВРЕМЕННОГО РЯДА «УЧЕТНАЯ ЦЕНА ОБЕЗЛИЧЕННОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЧЁТА "ЗОЛОТО"»

Е.Ю. Лискина, С.Н. Юлдашев

*Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,
Россия, Рязань, katelis@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе представлено построение модели тренда временного ряда значений учётной цены на обезличенный металлический счёт «золото». При моделировании учтено влияние мирового кризиса 2014 года. Получена модель тренда с переменной структурой.

Ключевые слова. Временной ряд, цена на золото, обезличенный металлический счёт, автокорреляционная функция, тренд

MODELING A SYSTEM COMPONENT OF A TIME SERIES OF "THE ACCOUNTING PRICE AN IMPERSONAL METAL ACCOUNT "GOLD""

E. Liskina, S. Yuldashev

*Ryazan state university named for S.A. Esenin,
Russia, Ryazan, katelis@yandex.ru*

Abstract. In this paper we developed the trend model of a time series of the accounting price an impersonal metal account "gold". We took into account the impact of the global crisis of 2014. A trend model with a variable structure was obtained.

Keywords. Time series, gold price, impersonal metal account, autocorrelation function, trend

Введение

В условиях финансовой нестабильности и высокой инфляции весьма актуальна проблема сбережения и накопления денежных средств частными лицами. Традиционным средством сбережения денежных средств являются депозиты, но в течение ряда лет, начиная с финансового кризиса 2014 года, годовые ставки по депозитам существенно отстают темпа роста цен на продукты первой необходимости. Дополнением депозитам с точки зрения сбережения и накопления денежных средств частными лицами являются иностранные валюты и драгоценные металлы. Однако, наиболее популярные иностранные валюты (доллар США и евро) в периоды финансовых кризисов характеризуются весьма высокой волатильностью, что заметно снижает их привлекательность в качестве инструмента сбережения денежных средств. Именно поэтому наиболее часто специалисты рекомендуют населению мультивалютные депозиты [1]. Ещё один инструмент сбережения и накопления денежных средств –

драгоценные металлы, основной особенностью которых является устойчивость цены в условиях нестабильности, что позволяет инвесторам снижать финансовые риски и уберегать капитал от инфляции. Кроме того, многие государства в периоды кризиса поощряют сделки с драгоценными металлами, особенно на внутреннем рынке, поскольку данные операции способствуют стабилизации макроэкономической ситуации и укреплению национальной валюты. Драгоценные металлы являются весьма привлекательным инструментом для инвестирования частными лицами, во-первых, из-за высокой доходности вложений, а во-вторых, из-за возможность использовать незначительный капитал и не зависеть напрямую от множества скрытых факторов, таких как инвестирование в валюту [2].

Наиболее популярным инвестиционным драгоценным металлом является золото. При этом рассматриваются три возможных варианта: обезличенные металлические счета, золотые слитки и золотые монеты. Инвестирование в золото с использованием обезличенного металлического счёта обладает целым рядом преимуществ:

- 1) учётная цена растёт быстрее, чем цены на продукты первой необходимости,
- 2) рост учётной цены обеспечивает более высокую прибыль, чем проценты по депозитам,
- 3) сделки по обезличенным металлическим счетам длительностью более 3-х лет освобождены от уплаты НДФЛ и других налогов,
- 4) отсутствует необходимость физического хранения драгоценного металла.

Однако такие особенности ведения обезличенного металлического счёта, как невозможность определить заранее величину прибыли и повышенный риск по сравнению с депозитами, требуют от инвестора знаний по элементарному прогнозированию цен на золото. Достаточно полный обзор зарубежных исследований по прогнозированию цен на золото представлен в [3]. Также широк спектр российских исследований этой проблемы [4, 5, 6]. В работе [2] разработан алгоритм расчета изменения цены на золото по отношению к цене на серебро на основе мировых цен на эти драгоценные металлы. В работе [4] построена тренд-сезонная автокорреляционная модель для прогнозирования динамики цены на золото с учетом кризиса 2008 г., рассмотрена зависимость учётной цены на золото в России от индекса Доу – Джонса, резервов монетарного золота России, курса доллара, ставки рефинансирования Федеральной резервной системы, инфляции в США. В работах [5, 6] построены системы одновременных эконометрических уравнений, моделирующие мировые тенденции цены на золото.

В представленной статье предлагается исследование временного ряда учётных цен обезличенного металлического счёта «золото» по данным Центрального банка РФ [7]. Был выбран промежуток времени с 01.01.2009 г. по 31.12.2016 г. (всего $n = 1992$ уровня, рис. 1.).



Рис. 1. Временной ряд «Учётная цена обезличенного металлического счёта «Золото»»

Ставится задача: проанализировать структуру временного ряда с точки зрения наличия системных компонент, сезонных и циклических составляющих, а также структурных сдвигов. В отличие от работы [4], используются ежедневные котировки, а не их среднемесячные значения.

Исследование выборочной автокорреляционной функции временного ряда

Для выявления структуры временного ряда были вычислены выборочные коэффициенты автокорреляции

$$r(\tau) = \frac{\sum_{t=1}^{n-\tau} (y_t - \bar{y}_t)(y_{t+\tau} - \bar{y}_{t+\tau})}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n-\tau} (y_t - \bar{y}_t)^2 \cdot \sum_{t=1}^{n-\tau} (y_{t+\tau} - \bar{y}_{t+\tau})^2}} \quad \text{для } \tau = 1; \left\lceil \frac{n}{4} \right\rceil + 1,$$

где y_t – значения уровней временного ряда;

$\bar{y}_t$ – среднее по всем значениям уровней временного ряда;

$y_{t+\tau}$ – значения уровней временного ряда, сдвинутых на τ уровней;

$\bar{y}_{t+\tau}$ – среднее по значениям уровней временного ряда, сдвинутых на τ уровней [8, с. 300].

Множество точек вида $(\tau; r(\tau))$, $\tau = 1; \left\lceil \frac{n}{4} \right\rceil + 1$, образует график выборочной автокорреляционной функции (АКФ) рассматриваемого временного ряда (рис. 2).

Так как $r(1) = 0,9986$, то рассматриваемый временной ряд содержит тенденцию. Так как выборочная АКФ является убывающей функцией, то на рассматриваемом промежутке времени не наблюдается циклических колебаний.



Рис. 2. График выборочной АКФ временного ряда

Моделирование тренда временного ряда методом кривых роста

С помощью пакета «Анализ данных. Регрессия» табличного процессора MS Excel были получены уравнения регрессии и их статистические характеристики следующих трендов: линейного, показательного и степенного (таблица 1), где A – средняя ошибка аппроксимации, DW – значение статистики Дарбина-Уотсона. Графики кривых роста представлены на рисунке 3.

Таблица 1. Статистические характеристики кривых роста

Тренд	Статистические характеристики				
	R^2	A	DW	Значимость уравнения по F -критерию	Значимость коэффициентов по t -критерию
Линейный $P = a_0 + a_1t$	0,7481	0,1207	0,0114	Значимо ($F = 5910$)	Все значимы
Показательный $P = e^{a_0 + a_1t}$	0,7897	0,0158	0,0105	Значимо ($F = 7474$)	Все значимы
Степенной $P = a_0t^{a_1}$	0,6198	0,0212	0,0064	Значимо ($F = 3244$)	Все значимы



Рис. 3. Графики временного ряда и трендов, полученных методом кривых роста

Моделирование влияния кризиса 2014 года

Для оценки влияния финансового кризиса 2014 года значения уровней каждого года временного ряда учётных цен на золото были построены в виде отдельных графиков (рис. 4).

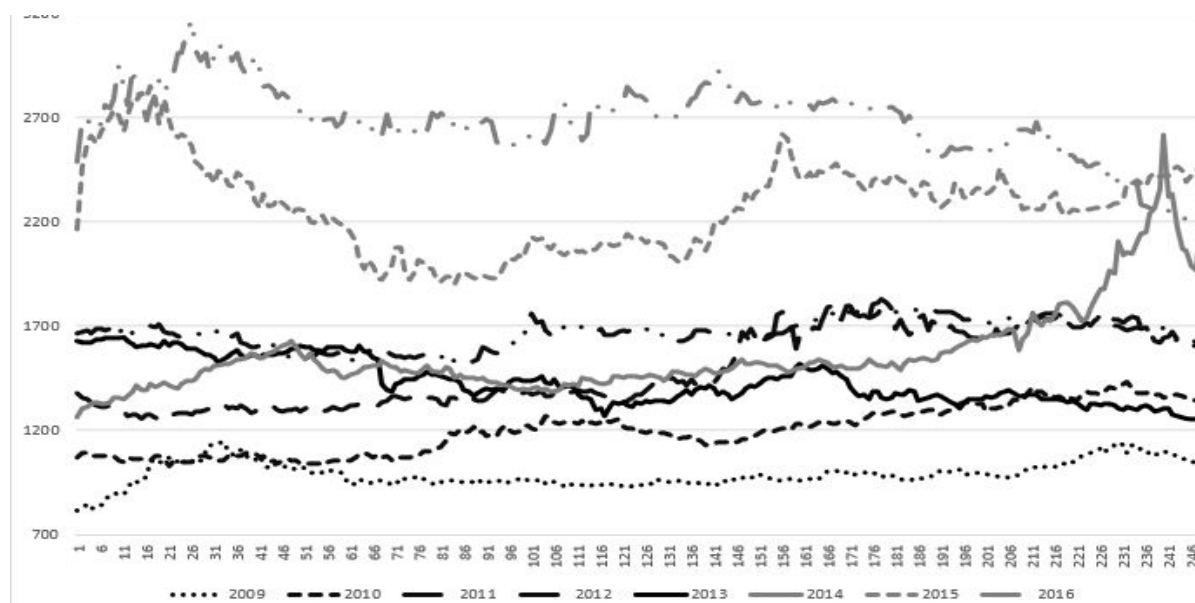


Рис. 4. Годовые графики учётных цен на золото

Анализ графиков, представленных на рис. 4, показал, что учётная цена на золото плавно возрастала с 2009 по 2012 год, снизилась (с 2013 по конец 2014 года), а затем резко выросла в конце 2014 года и далее в 2015 и 2016 годах возрастала, испытывая колебания. На основании анализа графиков было проведено моделирование тренда с переменной структурой по методу Гуйарати [8, с. 333]. Результаты моделирования представлены в таблице 2.

Таблица 2. Тренды с переменной структурой и их статистические характеристики

Тренд	Статистические характеристики				
	R^2	A	DW	Значимость уравнения по F -критерию	Значимость коэффициентов по t -критерию
Простой $\ln(P) = a_0 + a_1 t$	0,7897	0,0158	0,0105	Значимо ($F = 7474$)	Все значимы
Тренд с изменением среднего $\ln(P) = \begin{cases} a_0 + a_1 t & \text{при } t < 01.01.2014 \\ (a_0 + b) + a_1 t & \text{при } t \geq 01.01.2014 \end{cases}$	0,7929	0,0154	0,0107	Значимо ($F = 3807$)	Все значимы
Тренд с изменением наклона и среднего $\ln(P) = \begin{cases} a_0 + a_1 t & \text{при } t < 01.01.2014 \\ (a_0 + b) + a_1 t & \text{при } t \geq 01.01.2014 \end{cases}$	0,8390	0,0135	0,0146	Значимо ($F = 3452$)	Все значимы
Тренд с изменением наклона $\ln(P) = \begin{cases} a_0 + a_1 t & \text{при } t < 01.01.2014 \\ a_0 + (a_1 + b_1)t & \text{при } t \geq 01.01.2014 \end{cases}$	0,7899	0,0159	0,0105	Значимо ($F = 3738$)	b_1 не значим
Тренд с изменением наклона $\ln(P) = \begin{cases} a_0 + a_1 t & \text{при } t < 06.04.2013; \\ (a_0 + b) + (a_1 + b_1)t & \text{при } 06.04.2013 \leq t < 04.12.2014; \\ (a_0 + c) + (a_1 + c_1)t & \text{при } t \geq 04.12.2014 \end{cases}$	0,9365	0,0082	0,0448	Значимо ($F = 5862$)	Все значимы

Графики натурального логарифма значений учётных цен на золото и построенные тренды с переменной структурой представлены на рис. 5.



Рис. 5. Временной ряд натуральных логарифмов значений учётных цен на золото и тренды с переменной структурой

Из таблицы 2 следует, что наилучшим с точки зрения R^2 и A является тренд с переменной структурой следующего вида:

$$\ln(P) = \begin{cases} 6,8383 + 0,0006t + e_t & \text{при } t < 06.04.2013; \\ 6,7458 + 0,0004t + e_t & \text{при } 06.04.2013 \leq t < 04.12.2014; \\ 7,0615 + 0,0004t + e_t & \text{при } t \geq 04.12.2014. \end{cases} \quad (1)$$

Так как наблюдаемое значение статистики Дарбина-Уотсона для тренда (1) $DW = 0,0448$, то требуется дополнительное исследование остатков e_t данной модели.

Выводы

Таким образом, исследование системных компонент временного ряда учётных цен на золото показало наличие тренда и отсутствие циклических колебаний в рассматриваемом периоде времени. Моделирование тренда показало, что наилучшим по критериям R^2 и A является тренд с переменной структурой вида (1). Наличие положительной автокорреляции остатков показало, что необходимо дальнейшее развитие модели исследуемого временного ряда.

Библиографический список

1. Лазарева И.И., Геращенко А.А. Инвестиционная проблема накопления и преувеличения накопленных денежных средств // Экономическая среда. №3(5). 2013. С. 118–123.
2. Акимов С.С. Прогнозирование цен на золото // Наука и образование: новое время. 2016. № 3(14). С. 38-41. золото [Электронный ресурс] URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_26323855_93648202.pdf (дата обращения 10.10.2017).
3. Международная практика прогнозирования мировых цен на финансовых рынках (сырье, акции, курсы валют) / под ред. Я.М. Миркина. М.: Магистр, 2014. 456 с.
4. Арженовский С.В. Прогнозирование динамики цены и оценка риска инвестиций в золото // Экономический анализ: теория и практика. 2015. 20 (419). С. 50–56.
5. Богданова Е.Е., Полушина Т.Н., Джек Л.Н. Выявление факторов, влияющих на мировую цену золота // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 3. Ч. 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/49334> (дата обращения: 02.06.2017).

6. Хохлов В.В., Чайкина Е.В. Адекватность и прогноз экономико-математической модели зависимости цены на золото // Экономика и управление: теория и практика, 2016. Т.2. № 2. С. 81–85.
7. Учетные цены на аффинированные драгоценные металлы // Центральный банк Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: www.cbr.ru/hd_base/metall/metall_base_new/ (дата обращения: 02.03.2017).
8. Эконометрика: учебник / под ред. И.И. Елисеевой. М.: Финансы и статистика, 2007. 576 с.

УДК 004.021; ГРНТИ 27.45.15

СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ ПО ЗАДАННОМУ ОБЛАКУ ТОЧЕК С ПОМОЩЬЮ ТРИАНГУЛЯЦИИ

А.В. Пронькин, А.И. Новиков

Рязанский государственный радиотехнический университет
Россия, Рязань, antoniopronkin@mail.ru, novikovanatoly@yandex.ru

Аннотация. В работе описан алгоритм создания трехмерного изображения подстилающей поверхности по заданному облаку точек с помощью триангуляции. Приведено описание разработанного программно-алгоритмического комплекса, генерирующего полигональное изображение поверхности на основании триангуляции Делоне. Рассматривается пример работы созданного программного комплекса. Приведены статистические оценки быстродействия программного комплекса.

Ключевые слова. Трехмерная карта местности, облако точек, итеративный алгоритм построения триангуляции Делоне

DEVELOPING A THREE-DIMENSIONAL TERRAIN MODEL USING GIVEN POINT CLOUD WITH THE AID OF TRIANGULATION.

A.V. Pronkin, A.I. Novikov

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, antoniopronkin@mail.ru, novikovanatoly@yandex.ru

Abstract. The algorithm of creation a three-dimensional image of underlying surface on given point cloud with the aid of triangulation is described in this work. Description of developed program-algorithm complex which is generating polygonal image of surface by virtue of Delaunay triangulation is given here. An example of work of created program-algorithm complex is regarded. Statistical estimation of program-algorithm complex processing speed is also given.

Keywords. Three-dimensional map of terrain, point cloud, iterative algorithm of creation of Delaunay triangulation

Триангуляция Делоне. Для создания трехмерных изображений объектов часто генерируют облака точек, где каждая точка характеризуется положением в трехмерном пространстве и цветом. В некоторых приложениях этих сведений достаточно, но в большинстве случаев набор точек не несет смыслового характера. Для того чтобы соединить элементы облака и создать поверхности применяется построение триангуляции по заданным (двумерным) точкам, то есть соединение этих точек непересекающимися отрезками таким образом, чтобы в итоге получился планарный граф, где каждая внутренняя область является треугольником.

Первоначально триангуляция применялась только для точек на двумерной плоскости, но большинство алгоритмов можно обобщить и на случай трехмерного пространства. Данное обобщение корректно, если поверхность является однозначной, то есть существует такая плоскость, что все прямые, перпендикулярные ей пересекают поверхность не более чем в одной точке. Для однозначной поверхности триангуляцию можно строить по проекции поверхности на указанную плоскость. В случае невозможности выделения однозначной поверхности облако точек делят на части, которые являются однозначными, а затем соединяют эти части.

При построении триангуляции часто требуют, чтобы она удовлетворяла условию Делоне, то есть ни одна точка триангуляции не попадала внутрь окружности, описанной вокруг

любого треугольника [1]. На рисунке 1, *а* показана триангуляция, удовлетворяющая условию Делоне, а на рисунке 1, *б* изображен пример нарушения данного условия.

Если триангуляция удовлетворяет условию Делоне, то она обладает рядом важных свойств, которые на практике многократно уменьшают появление «тонких» треугольников и предотвращают заикливание построения в некоторых алгоритмах. Добиться выполнения условия Делоне можно простым перестроением ребер смежных треугольников, для которых это условие нарушено. Пример такого перестроения приведен на рисунке 1, *в*.

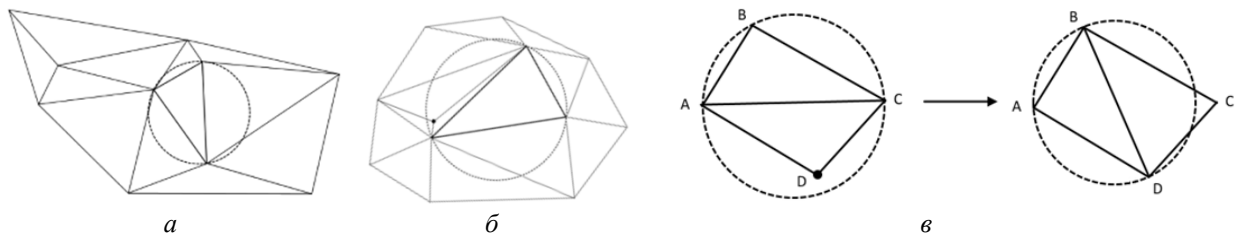


Рис. 1. Условие Делоне при построении триангуляции:

а – условие выполняется; *б* – условие нарушается;

в – перестановка ребер треугольников, для которых не выполняется условие

Итеративный алгоритм построения триангуляции Делоне. Одним из самых простых алгоритмов построения триангуляции Делоне является итеративный алгоритм, а так же его модификации, которые учитывают выбор структуры данных, используемые процедуры проверки условия Делоне и локализации треугольников и, как следствие, повышают эффективность алгоритма [2, 3].

Итеративный алгоритм триангуляции Делоне состоит из следующих шагов [1]:

Шаг 1. Построение первого треугольника. В одном из вариантов алгоритма, используется построение треугольника по трем первым точкам. Недостатком является то, что при таком подходе очередная точка может не попасть внутрь построенного треугольника. В этом случае придется искать ближайшие точки и ребра, чтобы достроить смежный треугольник. Количество действий при этом не фиксировано. В связи с этим могут возникать трудности при реализации алгоритма.

Существует другой способ построения первого треугольника, который исключает попадание точки из заданного множества точек в область вне треугольника в построенной триангуляции. Это обеспечивается за счет построения многоугольника (треугольника, квадрата и т.д.), покрывающего все точки заданного множества. При этом для построения первого многоугольника можно использовать не конкретные точки триангуляции, а добавленные таким образом, чтобы построенный на них многоугольник содержал все точки триангуляции. Пример такой фигуры показаны на рисунке 2, *а* (для простоты взят треугольник).

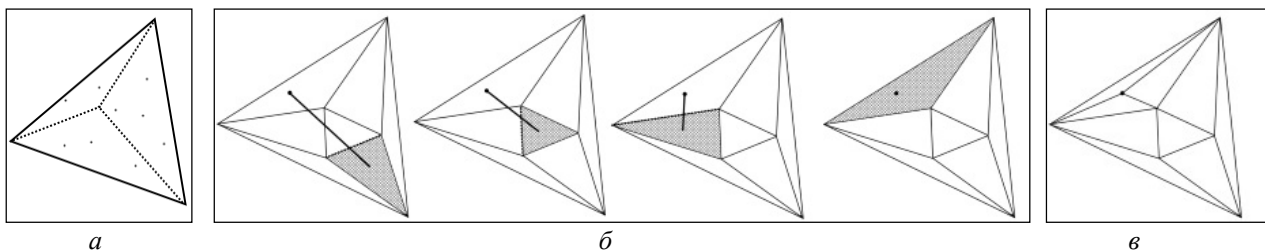


Рис. 2. Алгоритм добавления точки в триангуляцию:

а – треугольник, покрывающий все точки триангуляции;

б – пример локализации треугольника; *в* – добавление точки внутрь треугольника

Шаг 2. Для каждой вставляемой точки выполнить шаги 3-5.

Шаг 3. Поиск треугольника, в котором находится вставляемая точка (локализация). Эта часть алгоритма заключается в последовательном переходе через общие ребра от последнего обработанного треугольника (треугольник 1 на рис. 2, б) к треугольнику, содержащему текущую точку (треугольник 4 на рис. 2, б).

Центр каждого очередного треугольника соединяется отрезком с вставляемой точкой и выбирается ребро, с которым эта прямая пересекается (треугольники 1-3 на рис. 2, б) [4]. После этого происходит переход к треугольнику, смежному с найденным ребром. Эти переходы продолжаются до тех пор, пока вставляемая точка не будет находиться в очередном треугольнике.

Шаг 4. Создание новых треугольников. Найденный на предыдущем шаге треугольник (треугольник 4 на рис. 2, б) разбивается на 3 части: вставляемая точка соединяется с его вершинами (рис. 2, в).

Шаг 5. Проверка добавленных треугольников и соседних им на выполнение условия Делоне и, при нарушении, перестроение ребер. Известны различные способы проверки выполнения условия Делоне. В основном используют два метода. Первый метод основан на непосредственной проверке выполнения условия Делоне. Находится уравнение окружности, описанной около добавленного треугольника, и проверяется расположение третьей вершины смежного треугольника относительно построенной окружности. Во втором методе находится сумма противолежащих углов четырехугольника составленного из двух смежных треугольников. Найденная сумма углов сравнивается с углом 180° .

Первый способ имеет недостаток – большое число вычислений. Однако если хранить вычисленные коэффициенты для построенных окружностей, то это может ускорить процесс многократной проверки выполнения условия одних и тех же треугольников со смежными им.

Второй способ вытекает из свойства углов четырехугольника, вписанного в окружность (составленного из двух смежных треугольников): сумма противолежащих углов в таком четырехугольнике равна 180° . Если же сумма противолежащих углов больше этого значения, то это значит, что одна из четырех точек находится внутри окружности, построенной на других трех точках.

Рассмотрим треугольник ABC, построенный на некотором шаге и один из смежных с ним - треугольник AMC (рис 3).

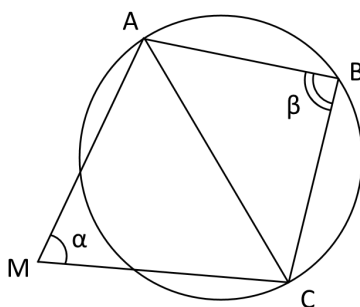


Рис. 3. Иллюстрация проверки условия Делоне для пары треугольников

Названные треугольники будут удовлетворять условию Делоне, если для данной точки М выполняется неравенство (1).

$$0 < \alpha + \beta \leq \pi . \quad (1)$$

Поскольку $\sin \gamma \geq 0$ для любого $\gamma \in (0, \pi]$, то проверку неравенства (1) можно заменить на проверку условия (2):

$$\sin(\alpha + \beta) \geq 0. \quad (2)$$

Значение $\sin(\alpha + \beta)$ вычислим по известной формуле скалярного произведения $(\sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta)$. Необходимые для реализации этого произведения косинусы углов α, β найдем по формулам (3), а синусы - по формулам (4).

$$\cos \alpha = \frac{(\overline{MA}, \overline{MC})}{|\overline{MA}| |\overline{MC}|}, \quad \cos \beta = \frac{(\overline{BA}, \overline{BC})}{|\overline{BA}| |\overline{BC}|}. \quad (3)$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}, \quad \sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta}. \quad (4)$$

Описанный алгоритм (шаги 1-5) реализован программно. Программы написаны на языках C++ и Delphi. Программный комплекс обеспечивает построение триангуляции по точкам на плоскости, которые получаются при однозначном проецировании на эту плоскость трехмерного облака точек.

В качестве структур данных используются массивы для хранения облака точек, и односвязные списки, содержащие описания треугольников. Каждый треугольник содержит указатели на три точки, на которых он построен и указатели на смежные треугольники, если такие имеются.

Эксперименты. Тестирование программного комплекса проводилось как на модельных облаках точек, так и на облаках точек, полученных в результате съемок определенных участков земной поверхности. Каждая точка облака, полученного в результате реальных съемок, характеризуется положением в пространстве и цветом. Для проверки и сравнения результатов в качестве выходного файла выбран открытый формат данных OBJ, который хранит точки, составляет по ним полигоны (поверхности) и таким образом строит 3D модели[5]. Помимо этого, каждому полигону можно задавать цвет, который программно вычисляется как «средний» оттенок, между тремя точками, на которых построен треугольник.

Примеры построения трехмерных моделей трех участков земной поверхности в виде полигональных изображений с помощью триангуляции Делоне по заданным облакам в составе 50 000 точек представлены на рисунке 4.

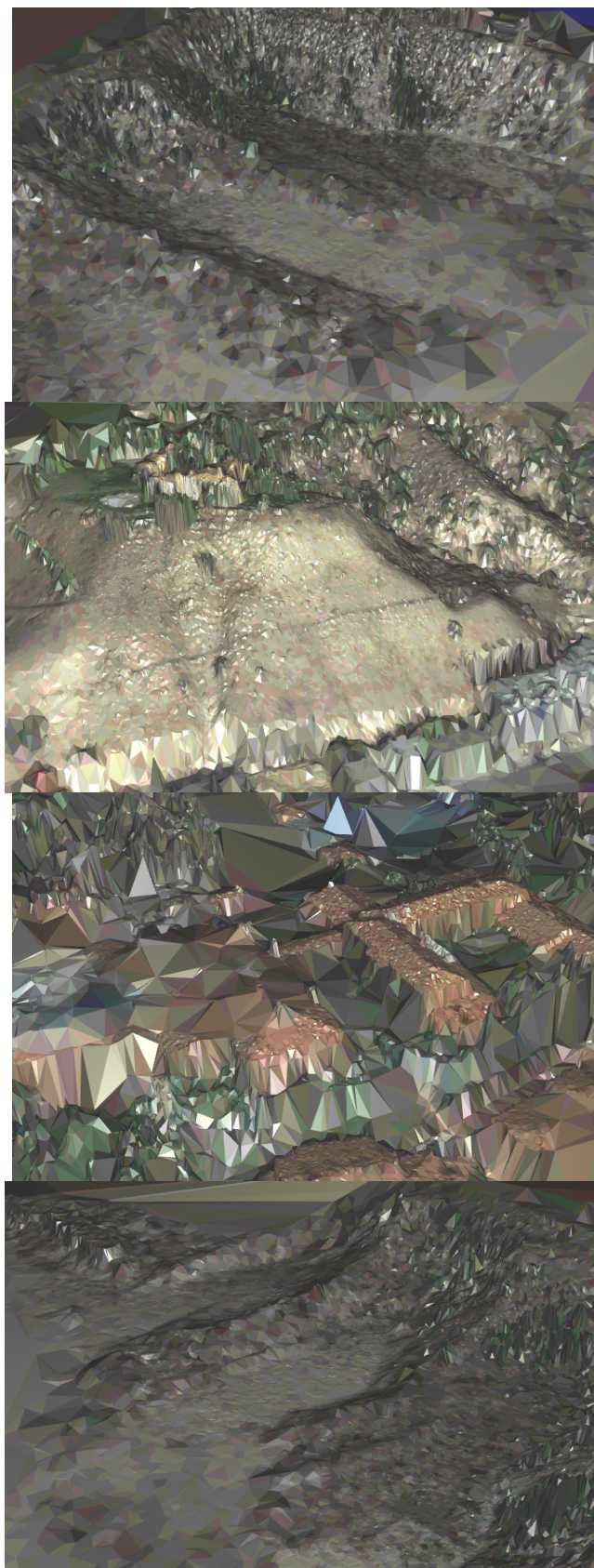


Рис. 4. Примеры построенной триангуляции по реальным облакам точек

Разработанный программный комплекс тестировался на облаках точек, полученных для различных участков земной поверхности, и с различным числом точек в облаках. В таб-

лице приведены статистические результаты исследования быстродействия программного комплекса, реализующего описанный алгоритм. Каждая выборка точек соответствующего объема формировалась многократно в виде отдельных серий. Поэтому данные таблицы можно считать статистически значимыми.

Таблица. Результаты тестирования алгоритма

Количество точек в облаке	Среднее время обработки
1 000	0.5 с
5 000	1 с
10 000	3 с
25 000	15 с
50 000	48 с
100 000	198 с

Можно заметить, что среднее время обработки массива точек в зависимости от количества точек в нем имеет порядок $O(n^2)$, что соответствует теоретическим оценкам быстродействия итеративных алгоритмов [6, 7]. Приблизительно зависимость времени обработки от количества точек в облаке можно описать соотношением (5).

$$t = 2,2 \cdot 10^{-8} \cdot n^2. \quad (5)$$

График реальных затрат машинного времени (синим цветом) и аппроксимирующей их функции (5) (красным цветом) приведены на рисунке 5.

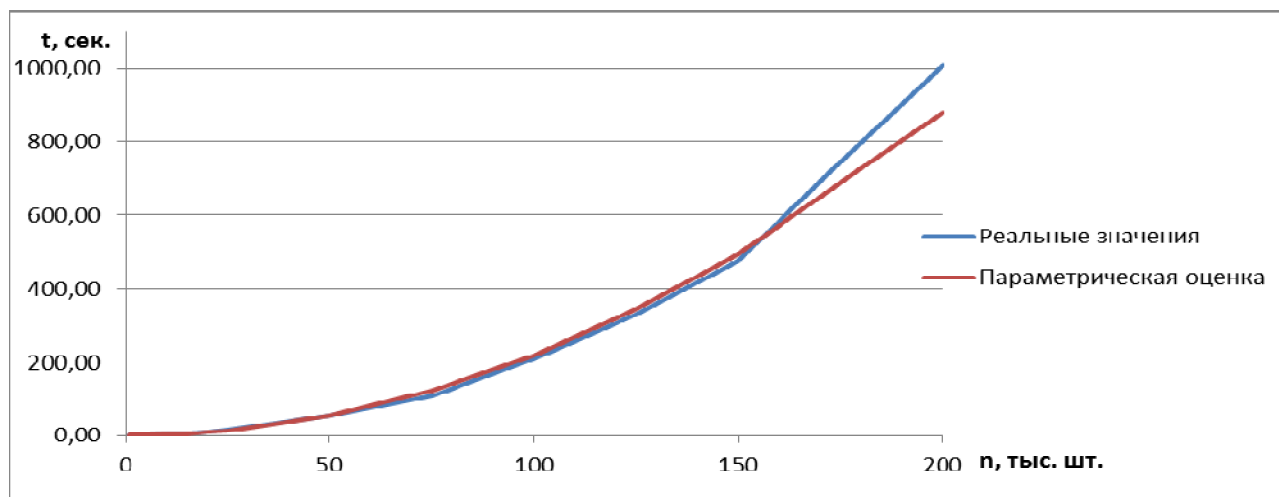


Рис. 5. График временных затрат

Вычисления проводились на персональном компьютере с процессором AMD A8-6410 2.00 GHz, ОЗУ 6.00 ГБ, 64-разрядной операционной системой Windows 8.1. Также, программный комплекс тестировался на компьютере с процессором Intel(R) Core(TM) i7-4770K 3.5 GHz, ОЗУ 8.00 ГБ, 64-разрядной операционной системой Windows 7, где показал результаты в среднем в 10 раз быстрее, а именно $t = 2 \cdot 10^{-9} \cdot n^2$.

Библиографический список

1. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. – 128 с.
2. Ильман В.М. Экстремальные свойства триангуляции Делоне // Алгоритмы и программы, ВИЭМС. Вып. 10(88). – М., 1985. – С. 57-66.

3. Сковцов А.В., Костюк Ю.Л. Эффективные алгоритмы построения триангуляции Делоне // Геоинформатика. Теория и практика. Вып. 1. – Томск: Издательство Томского университета, 1998. – С. 22-47.
4. Ласло М. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++ / Пер. с англ. М.: БИНОМ, 1997. 304 с.
5. Object Files (.obj) [Электронный ресурс]. – <http://paulbourke.net/dataformats/obj>.
6. Дышкант Н.Ф. Эффективные алгоритмы сравнения поверхностей, заданных облаками точек : дис. канд. физ.-мат. наук : 01.01.09. – Москва, 2011. – 139 с.
7. Пауков Д.П. Триангуляция Делоне: итеративные алгоритмы построения триангуляции // [Электронный ресурс]. Masters.donntu.org/publ2003/fvti/paukov.pdf.

УДК 51-74; ГРНТИ 27.35.33

ДИНАМИКА КАТАЛИТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ЭТИЛБЕНЗОЛА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТИРОЛА С УЧЕТОМ ЭНДОТЕРМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА И ВЕЛИЧИН РАСХОДА СЫРЬЯ

А.П. Попов*, С.Г. Тихомиров*, С.Л. Подвальный**, О.Г. Неизвестный**

* Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Россия, Воронеж, aleksej_p_91@mail.ru, tikhomirov_57@mail.ru

** Воронежский государственный технический университет,
Россия, Воронеж, spodvalny@yandex.ru, o.neizvestnyi@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния эндотермического эффекта на динамику протекания процесса дегидрирования этилбензола в первой ступени реакторного блока производства стирола с использованием модели химической кинетики и уравнений теплового баланса. Получена расчетная оценка влияния величины расхода сырья на концентрацию стирола на выходе из первого отделения реакционного аппарата.

Ключевые слова. Дегидрирование этилбензола, эндотермический эффект, тепловой баланс, адиабатический реактор.

DYNAMICS OF ETHYLBENZENE CATALYTIC DECOMPOSITION IN THE PRODUCTION OF STYRENE TAKING INTO ACCOUNT THE ENDOTHERMIC EFFECT AND RAW MATERIAL CONSUMPTION VALUES

A.P. Popov*, S.G. Tikhomirov*, S.L. Podvalnyi **, O.G. Neizvestnyi **

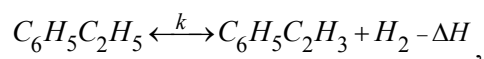
*Voronezh State University of Engineering Technologies,
Russia, Voronezh, aleksej_p_91@mail.ru, tikhomirov_57@mail.ru

** Voronezh State Technical University,
Russia, Voronezh, spodvalny@yandex.ru, o.neizvestnyi@mail.ru

Abstract. The article presents the results of the endothermic effect influence research on the dynamics process of ethylbenzene dehydrogenation in the first stage of the styrene reactor unit using the model of chemical kinetics and heat balance equations. A calculated estimate of the influence of the amount of raw material consumption on the styrene concentration at the outlet from the first stage of the styrene reactor unit was obtained.

Keywords. Dehydrogenation of ethylbenzene, endothermic effect, heat balance, adiabatic reactor.

Химическая промышленность характеризуется большой энергоемкостью, которая выражается в потреблении больших объемов топлива, а также подводимого тепла и электрической энергии. Одним из наиболее теплотратных химико-технологических процессов является производство стирола методом двухступенчатого гетерогенного каталитического разложения этилбензола, в результате которого происходит отделение молекулы водорода (дегидрирование) от исходного сырья и образование стирола и большого количества побочных продуктов. Выделение целевого продукта происходит по следующей химической реакции:



где ΔH - тепловой эффект реакции.

Данный процесс обладает эндотермическим тепловым эффектом так как протекает с поглощением значительного количества теплоты, величина которой составляет $100 \div 130$ кДж на килограмм выделившегося стирола [1,2].

Для повышения эффективности работы реактора дегидрирования и снижения энергозатрат при одновременном поддержании выхода стирола в заданном диапазоне концентраций необходимо усовершенствовать систему управления температурным режимом реакторного блока. Сложность управления заключается в том, что в процессе эксплуатации данный технологический аппарат подвергается воздействию различных возмущающих факторов: закоксовывание поверхности катализатора, колебание температуры и расхода водяного пара и этилбензольной шихты, поступающих на вход реакторного блока, которые влияют на динамику образования стирола, конверсию этилбензола.

В связи со сложностью реакционного аппарата, процессов, протекающих в реакторных ступенях целесообразно составление прогнозирующих моделей, учитывающих кинетические закономерности, каталитическую активность, тепловые эффекты, изменения значений технологических параметров на протяжении всего периода эксплуатации реактора.

Одним из важных этапов в процессе разработки прогнозирующей модели является расчет динамики образования стирола на основе модели химической кинетики дегидрирования и уравнений теплового баланса реакторных ступеней с учетом величин расходов этилбензольной шихты и греющего пара, поступающих в реакторный блок.

Реактор производства стирола состоит из двух последовательно соединенных ступеней шахтного типа с неподвижным слоем катализатора, каждая из которых имеет свои конструктивные особенности. Так, первая ступень снабжена камерой, в которой происходит смешение потоков греющего пара и этилбензола, а на входе во вторую ступень расположен межступенчатый перегреватель контактного газа, вышедшего из предыдущей части реактора. Задача прогноза выхода стирола для диапазона нагрузки реактора по сырью $20 \div 31,75$ т/ч [3] с учетом потерь тепла реакционного потока по длине реактора должна быть решена для каждой из ступеней. Рассмотрим 1-ю ступень:

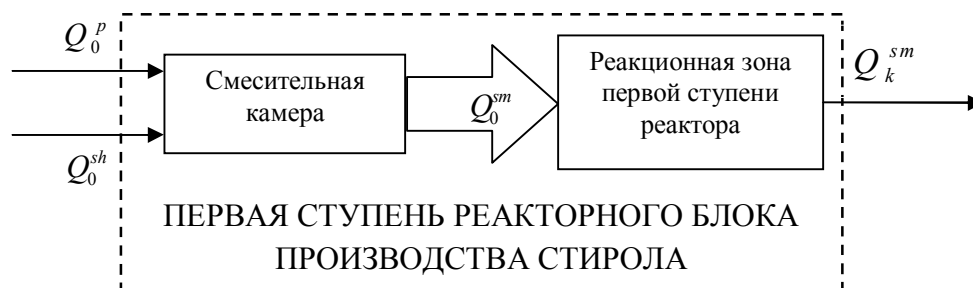


Рис. 1 Упрощенная структурная схема 1-й ступени реакторного блока производства стирола

Здесь Q_0^{sh} – теплота шихты на входе в смесительную камеру, Дж, Q_0^p – теплота водяного пара на входе в смесительную камеру, Дж, Q_0^{sm} – теплота шихты на выходе из смесительной камеры (на входе в ступень реактора), Дж, Q_k^{sm} – теплота водяного пара на выходе из реакторной ступени, Дж.

Принимая во внимание, что используемый реакционный аппарат является адиабатическим и, с учетом теплового эффекта процесса, уравнения теплового баланса выглядят следующим образом:

Статическая форма:

- уравнение теплового баланса смесительной камеры первой ступени реактора:

$$Q_0^p + Q_0^{sh} = Q_0^{sm}, \quad (1)$$

$$C_0^{sh} \cdot m_0^{sh} \cdot T_0^{sh} + C_0^p \cdot m_0^p \cdot T_0^p = (C_0^{sh} \cdot m_0^{sh} + C_0^p \cdot m_0^p) \cdot T_0^{sm}, \quad (2)$$

- уравнение теплового баланса реакционной зоны первой ступени реактора:

$$Q_0^{sm} = Q_k^{sm} + Q^r + Q^{pot}, \quad (3)$$

$$(C_0^{sh} \cdot m_0^{sh} + C_0^p \cdot m_0^p) \cdot T_0^{sm} - \Delta H \cdot C_{st} \cdot M_{st} = (C_0^{sh} \cdot m_0^{sh} + C_0^p \cdot m_0^p) \cdot T_k^{sm}, \quad (4)$$

где Q_0^{sh} – теплота шихты на входе в смесительную камеру, Дж;
 Q_0^p – теплота водяного пара на входе в смесительную камеру, Дж;
 Q_0^{sm} – теплота шихты на выходе из смесительной камеры (на входе в реакционную зону), Дж;
 C_0^{sh} – удельная теплоемкость шихты, Дж/(кг·К);
 m_0^{sh} – масса шихты, кг/с;
 T_0^{sh} – температура шихты на входе в смесительную камеру, К;
 C_0^p – удельная теплоемкость шихты, Дж/(кг·К);
 m_0^p – масса водяного пара, кг/с;
 T_0^p – температура пара на входе в смесительную камеру, К;
 T_0^{sm} – температура парозтилбензольной смеси на выходе из смесительной камеры (на входе в реакционную зону), К;
 Q_k^{sm} – теплота шихты на выходе из реакторной ступени, Дж;
 Q^c – количество теплоты, поглощаемое при образовании стирола за время прохода потока реагентов через реакторную ступень, Дж;
 $Q^{pot} = 0$ – количество теплоты, поглощаемое при теплообмене с окружающей средой, Дж;
 T_k^{sm} – температура парозтилбензольной смеси на выходе из реакторной ступени, К; $\Delta H = 1130436$ – количество энергии затраченной на образование одного килограмма стирола, Дж/кг;
 C_{st} – концентрация стирола, моль/м;
 M_{st} – молярная масса стирола, кг/моль.

Решения уравнений теплового баланса относительно: температуры парозтилбензольной смеси, поступающей в зону реакции из смесительной камеры и температуры контактного газа на выходе из первой ступени реакторного блока имеют вид:

$$T_0^{sm} = \frac{C_0^{sh} \cdot m_0^{sh} \cdot T_0^{sh} + C_0^p \cdot m_0^p \cdot T_0^p}{C_0^{sh} \cdot m_0^{sh} + C_0^p \cdot m_0^p}, \quad (5)$$

$$T_k^{sm} = \frac{(C_0^{sh} \cdot m_0^{sh} + C_0^p \cdot m_0^p) \cdot T_0^{sm} - \Delta H \cdot C_{st} \cdot M_{st}}{C_0^{sh} \cdot m_0^{sh} + C_0^p \cdot m_0^p}. \quad (6)$$

Динамическая форма, описывающая изменение температуры в течении времени прохождения реакционной смеси через первую ступень выглядит следующим образом:

$$\frac{dT}{dl} = \frac{(C_0^{sh} \cdot m_0^{sh} + C_0^p \cdot m_0^p) \cdot T_0^{sm} - \Delta H \cdot C_{st}(l) \cdot M_{st}}{C^{sh}(l) \cdot m_0^{sh} + C_0^p \cdot m_0^p}. \quad (7)$$

В качестве основных допущений при исследовании данного процесса приняты постоянство величин теплоемкости контактного газа и активности каталитического слоя в любой точке реакционной зоны. В основе расчета динамики изменения концентрации стирола с учетом величины тепловых потерь, приходящихся на 1 кг стирола, положена математическая модель кинетики химических превращений, протекающих при разложении этилбензола [4]. Результаты вычислительных экспериментов в виде числовых значений концентраций целевого продукта и величин температуры протекания процесса, определенных для различных моментов времени контакта потока с каталитическим слоем представлены в таблице 1.

Таблица 1. Изменение температуры потока парэтилбензольной смеси и концентрации стирола по длине первой реакторной при различных величинах расходах этилбензольной шихты

Расход этилбензольной шихты, т/ч	Длина первой ступени реактора, м	Время контакта реакционной смеси с катализатором, с	Неизотермический режим работы реактора		Изотермический режим работы реактора (T = 560 °C)
			Температура реакционного потока, °C	Концентрация стирола на выходе из 1-й ступени, %	Концентрация стирола на выходе из 1-й ступени, %
20	0	0	560	0	0
	1	0,265	554	5,33	5,67
	2	0,531	549	9,68	10,98
	3	0,797	545	13,34	15,92
	4	1,062	542	16,47	20,50
	5	1,328	539	19,21	24,75
	6	1,593	536	21,63	28,67
	7	1,859	534	23,79	32,28
	7,4	1,965	533	24,59	33,63
24	0	0	560	0	0
	1	0,221	555	4,51	4,75
	2	0,442	551	8,30	9,24
	3	0,664	547	11,55	13,47
	4	0,885	544	14,39	17,45
	5	1,106	541	16,90	21,18
	6	1,327	539	19,15	24,66
	7	1,548	537	21,17	27,92
	7,4	1,637	536	21,93	29,16
28	0	0	560	0	0
	1	0,190	556	3,90	4,08
	2	0,379	552	7,26	7,97
	3	0,569	549	10,19	11,67
	4	0,758	546	12,78	15,18
	5	0,948	543	15,10	18,50
	6	1,137	541	17,20	21,63
	7	1,327	539	19,10	24,58
	7,4	1,403	538	19,81	25,71
31,75	0	0	560	0	0
	1	0,167	556	3,47	3,61
	2	0,335	553	6,50	7,07
	3	0,502	550	9,18	10,38
	4	0,669	547	11,58	13,53
	5	0,836	545	13,74	16,54
	6	1,004	543	15,70	19,39
	7	1,171	541	17,50	22,10
	7,4	1,238	540	18,18	23,15

Анализ значений полученных при расчете процесса в первой ступени реактора, функционирующего в изотермическом и эндотермических режимах показал, что для получения заданного количества стирола при различных значениях расхода шихты необходимо выполнить оценку величин повышения (приращения) начального значения температуры парозтилбензольной смеси (560 °С), поступающей из смесительной камеры, в соответствии с продолжительностью контакта и разностью конечной концентрации продукта, рассчитанной без определения скорости падения температуры по длине реакторного блока и аналогичной величиной, полученной с учетом теплового эффекта реакции.

Библиографический список

1. Кирпичников П.А., Береснев В.В., Попова Л.М. Альбом технологических средств промышленности синтетического каучука: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1986. – 224 с.
2. Способ дегидрирования этилбензола до стирола: пат. 2214992 Итальянская Республика: МПК В01J 23/00 МПК С07С 15/00 МПК С07С 15/00/ Енци Родольфо, Санфилиппо Доменико; патентообладатель Снампроджетти С.П. А. – заявл. 19.09.2000; Дата опубл. 27.10.2003.
3. Технологический регламент производства стирола на «Нижнекамскнефтехим», 1980.
4. Моделирование изотермической кинетики дегидрирования этилбензола/ Попов А.П., Неизвестный О.Г., Подвальный С.Л., Тихомиров С.Г.// Моделирование энергоинформационных процессов/ Сборник статей VI международной научно-практической интернет - конференции (26-28.12.2017). – Воронеж. гос. ун-т инж. техн. – Воронеж: ВГУИТ, 2017. – С. 194-198.

УДК 330.43; ГРНТИ 27.43.51

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В.Ю. Медведева

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
Республика Беларусь, Гродно, Medvedeva_VJ_97@mail.ru*

Аннотация. В данной работе описано построение производственной функции Кобба-Дугласа на основе статистических данных Республики Беларусь по экономически активному населению, ВВП и инвестиций в основной капитал за период 1990-2015 гг. с использованием среды программирования R.

Ключевые слова. Производственная функция, эконометрический анализ, моделирование, корреляционно-регрессионный анализ.

AUTOMATION OF CREATION OF PRODUCTION FUNCTION FOR THE ECONOMETRIC ANALYSIS

V.J. Medvedeva

*Yanka Kupala State University of Grodno,
Republic of Belarus, Grodno, Medvedeva_VJ_97@mail.ru*

Abstract. In this work creation of production function of Kobb-Douglas on the basis of statistical data on GDP, Gross Capital Formation and Labor force with use of a programming environment R is described.

Keywords. Production function, econometric analysis, modeling, correlation and regression analysis.

Построение производственных функции, то есть выявление фактических технологических взаимосвязей в производстве, является одной из важнейших эконометрических задач и применяется в различных областях знаний и для широкого типа данных. Функции могут описывать технологические процессы в промышленности или сельском хозяйстве.

Для автоматизации процесса построения производственной функции Кобба-Дугласа и оценки качества модели был разработан программный продукт в среде программирования R.

На рисунке 1 изображена таблица данных для дальнейшего анализа и построения производственной функции Кобба-Дугласа:

```
> table1
```

	Year	Y	K	L
1	1991	1.0255499	1.1235830	0.9870313
2	1992	0.9799985	1.1751109	0.9779602
3	1993	0.9372912	1.4505260	0.9682299
4	1994	0.8596398	1.0679169	0.9574348
5	1995	0.8044306	0.7509539	0.9454081
6	1996	0.8495799	0.7536495	0.9343348
7	1997	0.8133989	0.8233424	0.9236137
8	1998	0.8763596	0.8829479	0.9125118
9	1999	0.6988351	0.6248750	0.9030707
10	2000	0.7332844	0.7024728	0.9020170
11	2001	0.7112899	0.6374627	0.8942252
12	2002	0.8402569	0.7028425	0.8892440
13	2003	1.0262434	0.9659224	0.8834931
14	2004	1.3323041	1.4405760	0.8769848
15	2005	1.7392510	1.8670256	0.8693376
16	2006	2.1279606	2.5831609	0.8609792
17	2007	2.6066087	3.3517614	0.8534100
18	2008	3.4976154	4.9657715	0.8461135
19	2009	2.8330336	3.9829703	0.8388470
20	2010	3.1791714	4.9441747	0.8432122
21	2011	3.4390313	4.8798127	0.8455130
22	2012	3.6624591	4.8875062	0.8472234
23	2013	4.2083654	6.2381269	0.8488867
24	2014	4.3814461	5.8772149	0.8500943
25	2015	3.1439392	3.5577861	0.8513019

Рис. 1. Таблица данных в среде программирования R

За основу анализа были взяты данные [1] по Республике Беларусь за период 1990-2015 гг. Приведем описание и условные обозначения всех анализируемых переменных: Y_t - валовой внутренний продукт (долларов США), K_t - инвестиции в основной капитал (долларов США), L_t - среднегодовая численность занятых в экономике (человек). Исходные данные по РБ были представлены в индексной форме с базовым периодом $t=1990$.

Окончание падения ВВП пришлось на конец 90-х и было связано с политической и экономической ситуацией в стране (отказ от социализма, распад СССР и т.д.). В результате проведенных социально-экономических реформ, разгосударствления и приватизации значительной части государственной собственности большая часть белорусской промышленности была модернизирована: происходили поставки энергоносителей в страну из России по внутренним ценам РФ и перепродажей их по мировым ценам. Данные факты объясняют восходящий тренд в экономике Беларуси с 2000 по 2007 г. Далее восходящий тренд прерывается в связи с мировым кризисом 2008 г.

Динамика переменной капиталовложения во многом сходна с поведением временного ряда ВВП и объясняется теми же причинами, что и динамика ВВП. Для подтверждения совпадения поведения переменных ВВП и капиталозатрат приведем соответствующий совместный график (рис. 2).

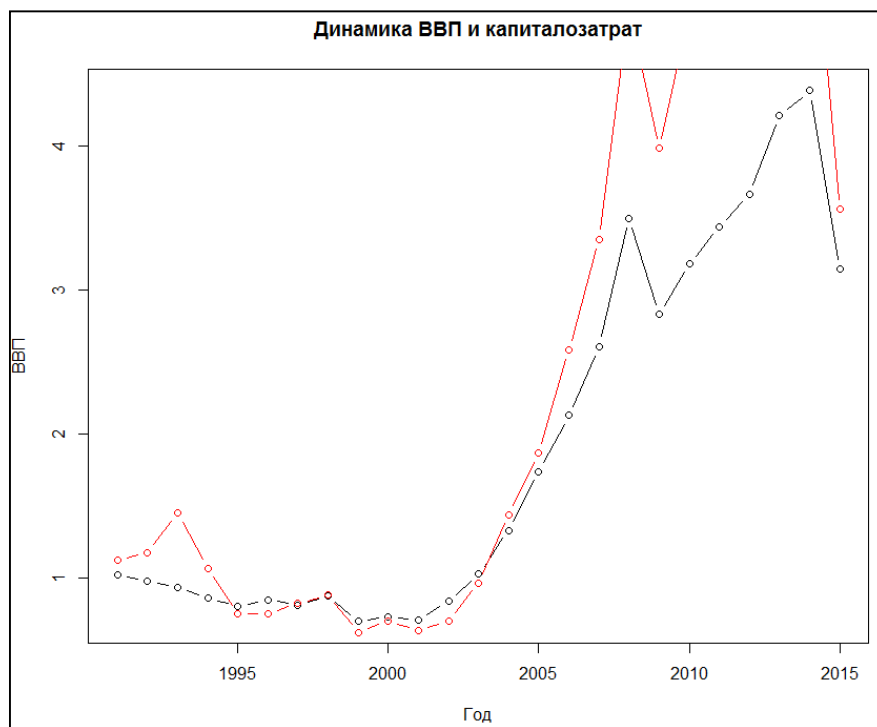


Рис. 2. Зависимость от времени переменных Y и K

Динамику численности работоспособного населения нельзя назвать постоянной. Можно сказать, что в общем, наблюдается нисходящий тренд, который нарушается в период с 2009 по 2015 г.

Найдём соответствующие коэффициенты корреляции (рис. 3).

```
> x1 <- table1[, c("Y", "K", "L")]
> x2 <- table1[, c("Y", "K", "L")]
> cor(x1, x2) #коэффициенты корреляции
```

```
> cor(x1, x2)
```

	Y	K	L
Y	1.0000000	0.9903696	-0.7630451
K	0.9903696	1.0000000	-0.7295436
L	-0.7630451	-0.7295436	1.0000000

Рис. 3. Коэффициенты корреляции

Из рисунка 3 видно, что все показатели между собой попарно сильно коррелируют. Высокие значения коэффициентов корреляции могут указывать на наличие мультиколлинеарности между исследуемыми экономическими показателями, что способно ухудшить точность расчётов коэффициентов модели [2].

Основываясь на полученных данных корреляционного анализа, осуществим регрессионный анализ исследуемых данных. Найдём коэффициенты эконометрической модели вида:

$$\ln Y = \ln A + \alpha \ln K + \beta \ln L$$

```
> mod5 <- lm(log(Y)~log(K)+log(L), data=table1) #расчёт коэффициентов линейной
регрессионной модели
> mod5
```

```
>summary(mod5) #сводная информация о результатах
>a<- exp(mod5$coefficients[1]) #вычисление A
>a
```

На рисунке 4 представлены результаты регрессионного анализа:

```
Call:
lm(formula = log(Y) ~ log(K) + log(L), data = table1)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.19026 -0.02812 -0.01173  0.04570  0.12851

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.20267     0.04471  -4.533 0.000164 ***
log(K)       0.71182     0.02831  25.148 < 2e-16 ***
log(L)      -1.96436     0.45086  -4.357 0.000252 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.0786 on 22 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9874,    Adjusted R-squared:  0.9862
F-statistic: 859.3 on 2 and 22 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Рис. 4. Результаты множественного регрессионного анализа

Таким образом, имеем $\ln A = -0,203$; $A = 0,82$; $\alpha = 0,71$; $\beta = -1,96$.

Искомая функция Кобба-Дугласа: $Y = 0,82 \cdot K^{0,71} L^{-1,96}$.

Для проверки гипотезы о значимости отдельных коэффициентов регрессии сравним критическое значение $t_{кр}(0,05; 22) = 2,074$, найденное на уровне значимости $\alpha = 0,05$, с расчетными значениями t -статистик. Из уравнения следует, что все коэффициенты являются статистически значимыми.

Общее качество уравнения регрессии высокое, так как и коэффициент детерминации $R^2 = 0,987$, и нормированный коэффициент детерминации $\bar{R}^2 = 0,986$ близки к единице.

Уравнение регрессии значимо, так как $F_{набл} = 859,3 > F_{кр}(0,05; 2; 22) = 3,44$.

Сравним исходные данные для ВВП и полученные в ходе моделирования:

```
>mod5 <- lm(log(Y)~log(K)+log(L), data=table1) #расчёт коэффициентов линейной
регрессионной модели
>plot(Y, type="b")
```

```
>lines(table1$Y, type="b", col="red") #построение ВВП и расчётного по модели ВВП
```

В базовой версии программы реализованы многочисленные методы проверки выполнения статистических допущений [3]:

1) Наиболее распространенный подход – применить функцию *plot()* к объекту, представляющему собой результат действия функции *lm()*. В результате появляются четыре диаграммы (рис. 5), полезные для оценки адекватности модели.

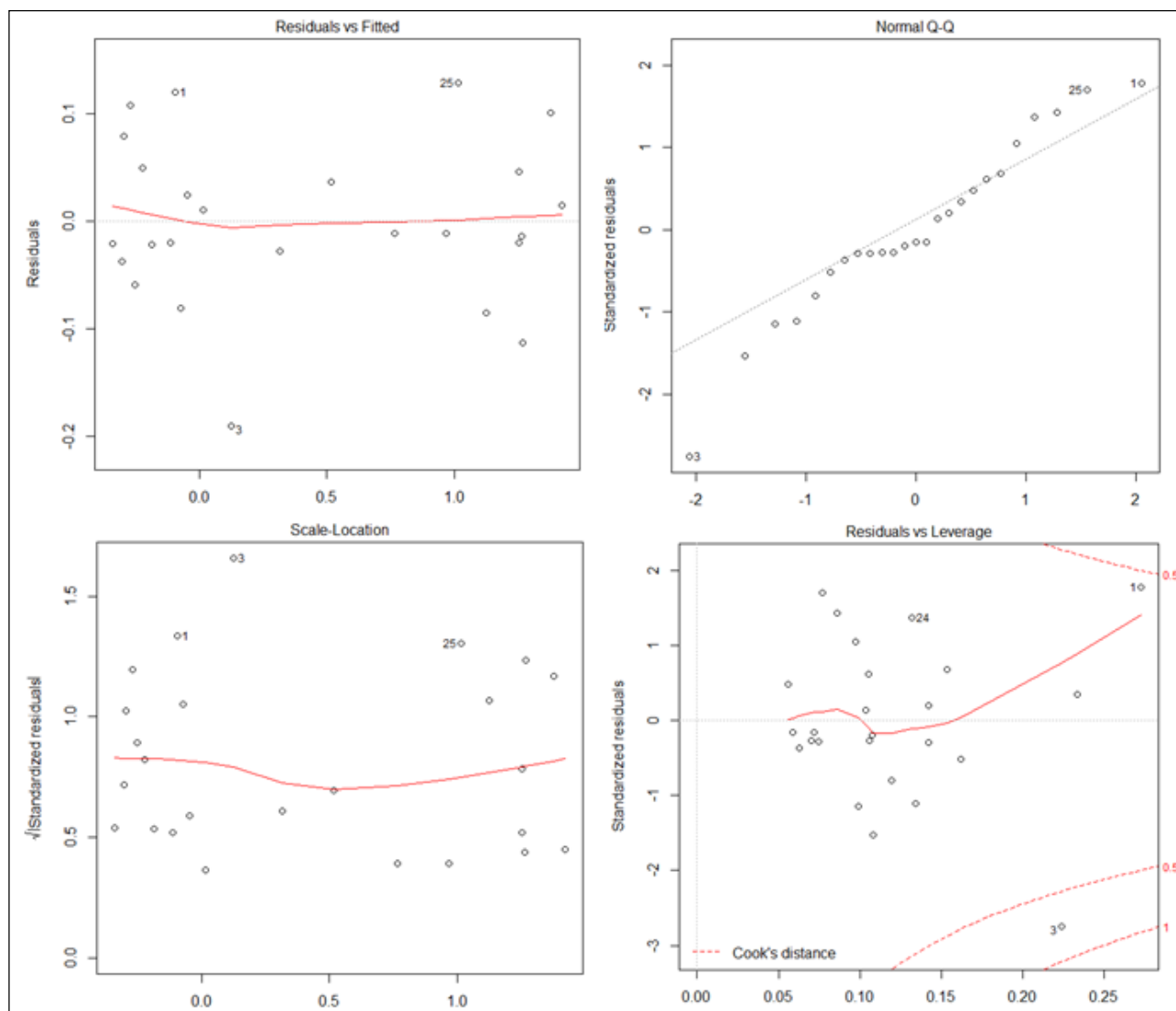


Рис. 5. Проверка выполнения статистических допущений

Выполнение предпосылок МНК позволяет исследователю строить регрессионную модель. Эту информацию можно получить двумя способами: или как анализ графиков, изображенных на рис. 5, или с помощью встроенной функции *gvlma()*.

Допущения МНК- регрессии предполагают следующее [3]:

Нормальность. Если значения зависимой переменной нормально распределены при постоянных значениях независимых переменных, тогда остатки должны быть нормально распределены со средним значением 0. Графическая проверка данных на нормальность (Normal Q-Q plot – справа сверху) - это построение графика распределения вероятностей, сопоставляющего стандартизованные остатки и значения, которые ожидаются при нормальном распределении. Если допущение о нормальном распределении выполняется, то точки на этой диаграмме должны ложиться на прямую с углом наклона в 45°. Поскольку здесь это не наблюдается, это допущение не выполняется.

Независимость. Из этих диаграмм нельзя сказать, насколько значения прогнозируемой переменной независимы. Для этого нужно понимать, как были собраны данные.

Линейность. Если зависимая переменная линейно связана с независимой, то связь между остатками и предсказанными значениями отсутствует. Другими словами, модель должна отражать всю закономерную изменчивость в данных, учитывая все, кроме белого

шума. На диаграмме зависимости остатков от предсказанных значений (сверху слева) можно увидеть приближённую к линейной зависимость.

Гомоскедастичность. Точки на нижней левой диаграмме располагаются в форме полосы вокруг горизонтальной линии, значит, допущение о постоянной изменчивости выполняется.

Выполним проверку предпосылок МНК с помощью специальной функции *gvlma()* из пакета *gvlma*. Она осуществляет общую проверку выполнения требований, предъявляемых к линейным моделям наряду с отдельной оценкой асимметрии, эксцесса и гомоскедастичности. Другими словами, этот тест дает общее заключение о выполнении требований, лежащих в основе модели. В приведенном ниже программном коде продемонстрировано применение этого теста к набору данных *table1*:

```
> library(gvlma) #подключаем пакет
> gvmmodel <- gvlma(mod5) #функция, осуществляющая общую проверку выполнения
требований, предъявляемых к линейным моделям наряду с отдельной оценкой асимметрии,
эксцесса и гомоскедастичности.
> summary(gvmmodel)
```

Из результатов теста (строка Global Stat) следует (рис. 6), что данные удовлетворяют всем статистическим допущениям, лежащим в основе МНК-регрессии ($p = 0.7015$). Если бы в этой строке было указано, что эти требования нарушены (то есть $p < 0.05$), то необходимо бы было исследовать данные другими методами, чтобы определить, какие именно требования были нарушены.

ASSESSMENT OF THE LINEAR MODEL ASSUMPTIONS USING THE GLOBAL TEST ON 4 DEGREES-OF-FREEDOM: Level of Significance = 0.05			
Call: gvlma(x = mod5)			
	Value	p-value	Decision
Global Stat	2.18633	0.7015	Assumptions acceptable.
Skewness	0.36333	0.5467	Assumptions acceptable.
Kurtosis	0.03207	0.8579	Assumptions acceptable.
Link Function	0.78006	0.3771	Assumptions acceptable.
Heteroscedasticity	1.01087	0.3147	Assumptions acceptable.

Рис. 6. Результаты теста

Результаты расчётов коэффициентов параметров модели и стандартные характеристики совпадают с расчётными значениями. Следовательно, можно сделать вывод о верной работе программного продукта и использовании его в целях автоматизации процесса построения производственной функции Кобба-Дугласа.

Модель значима и обладает близким к единице коэффициентом детерминации, имеет значимые коэффициенты и хорошо специфицирована, а также выполняются все предпосылки МНК.

Таким образом, построенная производственная функция может быть использована для описания экономики Республики Беларусь. Полученные данные означают, что коэффициент эластичности Y по капиталу K равен 0,71, а коэффициент эластичности Y по труду L равен - 1,96. Поскольку $\alpha + \beta < 1$, то имеет место убывающая отдача.

Библиографический список

1. World statistics [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://world-statistics.org>. – Дата доступа: 13.02.2018.
2. Хацкевич, Г.А. Эконометрика: Учебно-методический комплекс для студентов экономических специальностей. 2-е изд. испр. и доп. /Г.А. Хацкевич, А.Б. Гедранович. – Мн.: Изд-во МИУ, 2007. – 272 с.
3. Роберт, И. R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R / И. Роберт, пер. сангл. Полины А. Волковой. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 588 с.

УДК 519.63:678.7; ГРНТИ 28.17.23:61.01.81.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕСТРУКЦИИ БУТИЛОВЫХ РЕЗИН
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

С.Г. Тихомиров*, С.Л. Подвальный, А. В. Карманов****

** Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Россия, Воронеж, tikhomirov_57@mail.ru*

*** Воронежский государственный технический университет,
Россия, Воронеж, spodvalny@yandex.ru, andrikar93@yandex.ru*

Аннотация. Рассматривается математическая модель процесса деструкции резин на основе бутилкаучука при воздействии на них ионизирующего излучения. С использованием экспериментальных данных измерения вязкости по Муни облученных резин получено описание кинетики их деструкции.

Ключевые слова. Математическая модель, деструкция, резина, бутилкаучук, вязкость по Муни, ионизирующее излучение

**MODELING OF THE DESTRUCTION PROCESS OF BUTYL RUBBER
UNDER THE IONIZING RADIATION IMPACT**

S.G. Tikhomirov*, S.L. Podvalny, A.V. Karmanov****

** Voronezh State University of Engineering Technology,
Russia, Voronezh, tikhomirov_57@mail.ru*

*** Voronezh State Technical University,
Russia, Voronezh, spodvalny@yandex.ru, andrikar93@yandex.ru*

Abstract. A mathematical model of the destruction process of butyl rubbers under the ionizing radiation impact is considered. Using experimental data of measuring the Mooney viscosity of irradiated rubbers, a description of the kinetics of their destruction is obtained.

Keywords. Mathematical model, destruction, rubber, butyl rubber, viscosity Mooney, ionizing radiation.

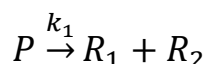
Радиационно-химические превращения полимеров – процессы, происходящие в полимерах при воздействии излучений энергии и приводящие к изменению их химического состава и свойств. К основным радиационно-химическим превращениям полимеров относят [1] образование химических связей между макромолекулами – сшивание; разрыв связей в главных цепях и образование молекул меньшей длины – деструкция. В соответствии с классификацией полимеров по типу преобладающих радиационно-химических превращений бутилкаучук относится преимущественно к деструктирующимся. При деструкции разрыв связей в главной цепи может произойти в любом месте по закону случая. Поэтому независимо от исходного молекулярно-массового распределения полимеров при деструкции оно стремится к наиболее вероятному значению. Радиационно-химический выход деструкции прямо пропорционален дозе облучения и молекулярному весу продуктов деструкции. Целью работы явилось исследование кинетики радиационной деструкции резин на основе бутилкаучука.

При обработке резин на основе бутилкаучука ионизирующими излучениями благодаря протеканию процессов деструкции можно получать материалы с заданными пластическими свойствами [2]. Варьируя дозу облучения, можно регулировать свойства образцов.

В качестве объектов исследования использовали резины на основе бутилкаучука, подвергнутые облучению на источнике Co^{60} дозами 20-100 кГр.

Основой для построения математической модели деструкции резин на основе бутилкаучука под действием γ -излучения послужил подход, описанный авторами [3]. Данный подход позволяет оценивать динамику изменения начальных моментов функции молекулярно-массового распределения полимера в зависимости от величины дозы облучения.

Исходя из предположения, что в процессе ионизационного облучения полимерные молекулы случайным образом разрушаются по схеме:



где P – текущая массовая (весовая) концентрация полимера; R_1 и R_2 – полимерные радикалы, при этом

$$P + R = P_0$$

где P_0 – массовая (весовая) концентрация полимера.

Процесс образования радикалов можно описать уравнением:

$$\begin{cases} \frac{dR}{d\theta} = k_1(P_0 - R) \\ P(0) = P_0 \end{cases} \quad (1)$$

где θ – доза облучения (кГр);

k_1 – константу скорости деструкции полимерной матрицы (кГр) $^{-1}$.

Решение уравнения (1) имеет вид

$$R(\theta) = P_0(1 - e^{-k_1\theta}) \quad (2)$$

Тогда, учитывая, что

$$\int_0^\theta \sigma(\gamma) d\gamma = \int_0^\theta \frac{dR(\gamma)}{P_0} = 1 - e^{-k_1\theta} \quad (3)$$

$$M^l(\theta) = M^l(0) \cdot e^{-\frac{l}{l+1}(1-e^{-k_1\theta})} \quad (4)$$

где l – номер момента;

$M^l(\theta)$ – значение l -того момента при дозе облучения θ ;

$\sigma(\gamma)$ – доля прореагировавших молекул.

Поскольку $M^l(\theta)$ не представляется возможным оценивать в реальных условиях, для характеристики процесса целесообразно использовать косвенную величину – вязкость по Муни ($M_h(\theta)$).

Вязкость по Муни полимерной композиции согласно [3] связана с концентрацией радикалов следующими выражениями:

$$M_v(\theta) = M_v(0) \cdot e^{-\frac{1}{\beta+1} \int_0^\theta \frac{dR(\gamma)}{P_0}} \quad (5)$$

$$M_h(\theta) = M_h(0) \cdot e^{-\frac{\alpha}{\beta+1} \int_0^{\theta} \frac{dR(\gamma)}{P_0}} \quad (6)$$

где β – константа Марка – Куна – Хаувинка;

α – константа;

$M_v(\theta)$ – средневязкостная молекулярная масса полимера при дозе облучения θ [4].

Полученная зависимость (6) вместе с (2) представляет собой математическую модель динамики изменения вязкости по Муни в процессе ионизационного облучения полимерной композиции. Для её использования необходимо оценить константу скорости k_1 деструкции полимерной матрицы.

В среде Mathcad произведен расчет константы скорости деструкции k_1 . Для её оценки использовали экспериментальные данные [5], описывающие изменение M_h в зависимости от дозы ионизирующего облучения. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

В качестве критерия оптимизации для оценки параметров использовался критерий

$$I = \sum_{i=1}^N (M_{h_i}^{\text{расч}} - M_{h_i}^{\text{эксп}})^2 \rightarrow \min \quad (7)$$

где N – число измерений.

Таблица 1. Константы скорости деструкции

α	β	k_1
4,037	0,69	0,0216

Минимизация критерия (7) осуществлена с использованием генетического алгоритма.

Результаты расчетов по модели (6) представлены в таблице 2 и обобщены на рисунке. Исходными данными для получения расчетных значений вязкости по Муни ($M_h^{\text{расч}}$) являлись экспериментальные значения $M_h^{\text{эксп}}$. Сглаживание данных осуществлено с использованием процедуры скользящего среднего. Погрешность вычислений $\Delta_{\text{отн.}}$ находится в пределах от 0,01 до 1,77 %. Полученная модель прошла проверку на адекватность с использованием критерия Фишера: $F_{\text{расч.}} > F_{\text{табл.}}$ (6,61) и R-критерия.

Таблица 2 - Результаты расчетов и идентификации модели

Доза облучения, кГр	$M_h^{\text{эксп.}}$, усл. ед.	$M_h^{\text{расч.}}$, усл. ед.	$\Delta_{\text{отн.}}$, %	R^2	F-критерий
0	-	537,74	-	0,99	149,25
20	235	236,55	0,66		
40	135	134,99	0,01		
50	113	112,99	0,01		
70	85	83,52	1,77		
100	65	64,96	0,06		

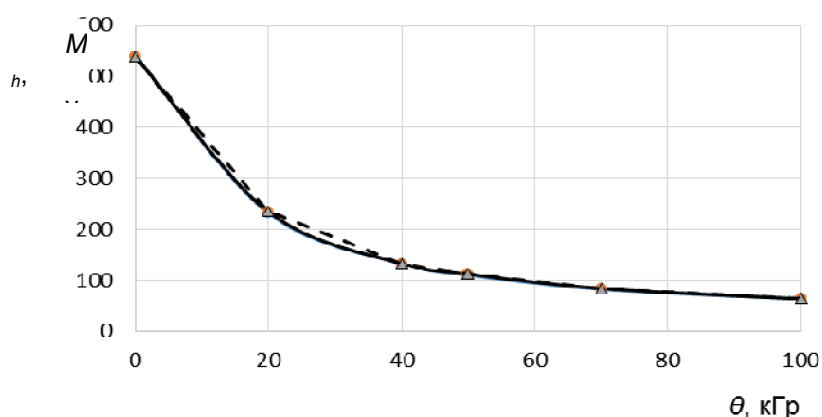


Рис. Изменение вязкости по Муни (M_h) резин на основе бутилкаучука в зависимости от дозы γ -излучения (θ): сплошная линия – эксперимент, пунктир – расчет

Таким образом, с использованием модели проведена оценка кинетических параметров деструкции в зависимости от дозы облучения резин. Предложенная модель деструкции полимеров под действием ионизирующего излучения разной мощности позволяет прогнозировать их пласто-эластические свойства.

Библиографический список

1. Бугаенко Л.Т., Кузьмин М.Г., Полак Л.С. Химия высоких энергий. М: Химия.-1988, 368 с.
2. Хаккимулин Ю. Н. Структура, свойства и применение радиационных регенератов резин на основе бутилкаучука: монография. 2010. 188 с.
3. Тихомиров С. Г., Подвальный С. Л., Хвостов А. А., Карманова О. В., Битюков В. К. Исследование и моделирование процесса деструкции полимера в массе // Теоретические основы химической технологии, 2018, том 52, No 6, с. 83–92.
4. Каминский В.А., Кузнецов А.А. О кинетике деструкции полимеров по закону случая // Теоретические основы химической технологии. 2012. Т. 46. № 4. С. 453-457.
5. Карманова О.В., Тихомиров С.Г., Лисецкая А.Н., Астахов К.Ю. Получение бутилрегенерата радиационной деструкцией смоляных и серных вулканизатов / Материалы XXI научно-практической конференции «Резиновая промышленность: сырье, материалы, технологии», 2016, с. 166-168.

УДК 519.766.26; ГРНТИ 27.03.33

ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД К КЛАССИФИКАЦИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ НА ОСНОВЕ ИНДЕКСОВ НЕЧЕТКОСТИ

А.Н. Конюхов, А.Б. Дюбуа, А.С. Сафошкин

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, chronos@bk.ru

Аннотация. Выполнены расчеты различных индексов нечеткости для модельных непрерывных нечетких множеств с ограниченными носителями, проведен сравнительный анализ их значений. Показана возможность использования индексов нечеткости в качестве классификационного признака, связанного с видом функции принадлежности.

Ключевые слова. Нечеткое множество, функция принадлежности, мера нечеткости, индекс нечеткости, классификация.

ONE POSSIBLE APPROACH TO FUZZY SET CLASSIFICATION BASED UPON INDICES OF FUZZINESS

A.N. Konyukhov, A.B. Dubois, A.S. Safoshkin

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, chronos@bk.ru

Abstract. Various indices of fuzziness for pattern support-bounded continuous fuzzy sets were calculated and discussed. The possibility of using these indices as a classification criteria related to the type of membership function was shown.

Keywords. Fuzzy set, membership function, measure of fuzziness, index of fuzziness, classification.

Известно, что по L. Zadeh нечетким подмножеством или просто нечетким множеством (НМ) $\tilde{A}$ называется совокупность всех пар следующего вида: $\tilde{A} = \{ \langle x \in U, \mu_{\tilde{A}}(x) \rangle \}$, где U - множество-универсум, на котором задано нечеткое подмножество; $\mu_{\tilde{A}}(x)$ - функция принадлежности (ФП) элемента x множеству $\tilde{A}$, причем $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1$, [5].

Принципиальная новизна такого подхода состоит в отказе от одного из базовых законов классической теории множеств - закона «исключения третьего». Проще говоря, в рамках теории нечетких множеств элемент может лишь частично принадлежать множеству, причем степень этой принадлежности выражается значениями функции $\mu_{\tilde{A}}(x)$.

Несмотря на огромное количество практических приложений, одним из актуальных вопросов оснований теории нечетких множеств остается проблема меры нечеткости (measure of fuzziness), под которой понимается количественная характеристика отличия нечетких объектов от классических.

Аксиоматическая база проблемы была заложена в работах Luca & Termini (1972), которые постулировали, что мера нечеткости множества $mF(\tilde{A})$ должна удовлетворять следующим, вообще говоря, очевидным требованиям:

1. $mF(\tilde{A}) = 0$, если $\tilde{A}$ - обычное (четкое) множество;
2. $mF(\tilde{A})$ достигает максимума, если $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1/2$ на всем носителе НМ $\text{supp}(\tilde{A})$, то есть когда НМ состоит из одних лишь точек перехода;
3. $mF(\tilde{A}) \leq mF(\tilde{B})$, если множество $\tilde{A}$ «более четкое», чем $\tilde{B}$;
4. $F(\tilde{A}) = F(\overline{\tilde{A}})$ - нечеткость НМ $\tilde{A}$ равна нечеткости его дополнения $\overline{\tilde{A}}$, [1].

Если кроме перечисленных добавить требование $0 \leq mF(\tilde{A}) \leq 1$, то можно говорить, что $mF(\tilde{A})$ - индекс нечеткости множества $\tilde{A}$. Такая приведенная форма позволяет сделать сопоставимыми значения мер, полученных по разным методикам.

В качестве первой для проведения исследования была выбрана энтропийная мера нечеткости.

Пусть система может находиться в одном из n различных состояний $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ с вероятностями $p_1, p_2, \dots, p_n$ соответственно. Тогда выражение для функции состояния системы - энтропии H имеет вид

$$H(p_1, p_2, \dots, p_n) = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i.$$

Нетрудно показать, что энтропия будет максимальной в случае реализации наиболее вероятного состояния системы, то есть когда $p_i = 1/n$, $\forall i (1 \leq i \leq n)$. В то же время, если состояние системы строго определено, а именно система находится в j -м состоянии, т.е. $\exists j (1 \leq j \leq N): p_j = 1$, то значение энтропии будет минимальным $H=0$ (по умолчанию полагаем $0 \ln 0 = 0$).

Учитывая указанные свойства энтропийной функции, Luca & Termini по аналогии применили ее в качестве меры нечеткости дискретного НМ в следующем виде

$$H(\tilde{A}) = -K \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}}(x_i) \ln \mu_{\tilde{A}}(x_i),$$

где константа $K > 0$, [1].

Легко убедиться, что $H(\tilde{A})$ будет достигать максимума, если НМ состоит из одних лишь точек перехода $\mu_{\tilde{A}}(x_i) = 1/2 \forall x_i \in \text{supp}(\tilde{A})$, а на обычных (четких) множествах будет обращаться в нуль.

Нас интересует применение энтропийной меры нечеткости для нормальных НМ ($0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1$) с непрерывным носителем. Для этого формулу перепишем в виде

$$mF_H(\tilde{A}) = -K \int_{x \in \text{supp}(\tilde{A})} \mu_{\tilde{A}}(x) \ln \mu_{\tilde{A}}(x) dx.$$

Нормировочный коэффициент K найдем из условий $0 \leq mF_H(\tilde{A}) \leq 1$ и $mF_H(\tilde{T}) = 1$, где $\tilde{T}$ - нечеткое множество, состоящее только из точек перехода. Тогда окончательная расчетная формула для энтропийного индекса нечеткости примет вид

$$mF_H(\tilde{A}) = -\frac{2}{\ln 2} \frac{\int_{x \in \text{supp}(\tilde{A})} \mu_{\tilde{A}}(x) \ln \mu_{\tilde{A}}(x) dx}{m(\text{supp}(\tilde{A}))},$$

где $m(\text{supp}(\tilde{A}))$ - мера носителя множества $\tilde{A}$; если носитель – обычный отрезок $[a, b]$, то его мерой является длина $m(\text{supp}(\tilde{A})) = b - a$.

В качестве следующей альтернативы использовался индекс Б.Коско (B.Kosko, 1986), выражаемый через кардинальное число (мощность) $M(\tilde{A})$ нечеткого множества, [2]:

$$mF_K(\tilde{A}) = \frac{M(\tilde{A} \cap \overline{\tilde{A}})}{M(\tilde{A} \cup \overline{\tilde{A}})}.$$

Для НМ с непрерывным носителем формулу индекса Коско перепишем в виде

$$mF_K(\tilde{A}) = \frac{\int_{x \in \text{supp}(\tilde{A})} \min(\mu_{\tilde{A}}(x), 1 - \mu_{\tilde{A}}(x)) dx}{\int_{x \in \text{supp}(\tilde{A})} \max(\mu_{\tilde{A}}(x), 1 - \mu_{\tilde{A}}(x)) dx},$$

где в качестве операций пересечения и объединения мы принимаем нормы L. Zadeh как наиболее простые.

Для построения третьего индекса была взята мера Ягера (R.Yager, 1979), основанная на измерении расстояния между НМ $\tilde{A}$ и его дополнением $\bar{\tilde{A}}$, [4]:

$$mF_Y(\tilde{A}) = 1 - \frac{d_p(\tilde{A}, \bar{\tilde{A}})}{m^{\frac{1}{p}}(\text{supp}(\tilde{A}))},$$

где $m(\text{supp}(\tilde{A}))$ - мощность носителя $\tilde{A}$;

$d_p(\tilde{A}, \bar{\tilde{A}})$ - расстояние между множествами по метрике p , определяемое как

$$d_p(\tilde{A}, \bar{\tilde{A}}) = \left(\int_{x \in \text{supp}(\tilde{A})} |\mu_{\tilde{A}}(x) - \mu_{\bar{\tilde{A}}}(x)|^p dx \right)^{\frac{1}{p}}.$$

В случае простейшей линейной метрики Хемминга ($p=1$) индекс нечеткости Ягера рассчитывается по формуле

$$mF_{Y1}(\tilde{A}) = 1 - \frac{\int_{x \in \text{supp}(\tilde{A})} |2\mu_{\tilde{A}}(x) - 1| dx}{m(\text{supp}(\tilde{A}))},$$

а для квадратичной метрики Евклида ($p=2$) по формуле

$$mF_{Y2}(\tilde{A}) = 1 - \sqrt{\frac{\int_{x \in \text{supp}(\tilde{A})} (2\mu_{\tilde{A}}(x) - 1)^2 dx}{m(\text{supp}(\tilde{A}))}}.$$

Наконец, в качестве четвертого показателя использовался индекс нечеткости Кауфмана (A.Kaufmann, 1975), [3]:

$$mF_K(\tilde{A}) = \frac{2}{m(\text{supp}(\tilde{A}))} \int_{x \in \text{supp}(\tilde{A})} |\mu_{\tilde{A}}(x) - \mu_A(x)| dx,$$

где $\mu_A(x)$ - характеристическая функция четкого множества, ближайшего к данному НМ $\tilde{A}$:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0,5 < \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1, \\ 0, & \text{если } 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 0,5. \end{cases}$$

Можно показать, что индекс Кауфмана совпадает с индексом Ягера при $p=1$. Поэтому для исследования принят индекс Ягера при $p=2$.

Расчеты индексов произведены на модельных непрерывных НМ с ограниченными носителями, описываемых следующими функциями принадлежности:

- треугольная:

$$\mu_A^t(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{если } a \leq x < b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{если } b \leq x \leq c, \\ 0 & \text{иначе,} \end{cases}$$

- гауссова:

$$\mu_A^g(x) = \begin{cases} \exp \left[\frac{4(c-x)(x-a) - (c-a)^2}{4(c-x)(x-a)} \right], & \text{если } a < x < c \\ 0 & \text{иначе,} \end{cases}$$

- квадратичная:

$$\mu_A^q(x) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{x-b}{c-b} \right)^2, & \text{если } a \leq x \leq c \\ 0 & \text{иначе,} \end{cases}$$

- гармоническая:

$$\mu_A^h(x) = \begin{cases} 0,5 \left(1 + \cos \left(\pi \frac{x-b}{c-b} \right) \right), & \text{если } a \leq x \leq c \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Индексы нечеткости в ряде случаев допускали несложное аналитическое вычисление (например, энтропийный индекс для треугольной ФП равен строго $\frac{1}{2 \ln 2}$). В тех случаях, когда аналитический расчет представлялся невозможным (например, для гауссовой ФП), индексы рассчитывались в системе компьютерной математики MathCad. Результаты расчетов отражены в табл 1.

Таблица 1. Индексы нечеткости, рассчитанные на модельных множествах

Модельное множество	Индекс нечеткости			
	Коско	Ягера ($p=2$)	Кауфмана	Энтропийный
четкое, A	0	0	0	0
нечеткое с гауссовой ФП	0,192	0,256	0,323	0,458
нечеткое с гармонической ФП	0,222	0,293	0,363	0,557
нечеткое с квадратичной ФП	0,243	0,317	0,391	0,539
нечеткое с треугольной ФП	0,333	0,423	0,5	0,721
нечеткое, состоящее только из точек перехода, $\tilde{T}$	1	1	1	1

По данным таблицы 1 можно сделать следующие выводы.

1. Для каждого НМ, задаваемого функцией принадлежности определенного вида, все индексы имеют строго определенное постоянное значение, не зависящее от мощности носителя. То есть индекс нечеткости является количественным дескриптором класса ФП.

2. Все использованные индексы отражают отчетливую тенденцию роста нечеткости при переходе от НМ с гауссовой ФП ко множеству с гармонической ФП (+15,6%), с квадратичной ФП (+26,6%), с треугольной ФП (+73,4%) (значения приростов приведены по индек-

су Коско). При этом разные индексы демонстрируют различную чувствительность. Вместе с тем можно отметить некоторую несогласованность энтропийного индекса: в отличие от других показателей он проявляет противоположное изменение при переходе от НМ с гармонической к НМ с треугольной ФП.

3. Результаты исследования свидетельствуют о том, что значения индексов нечеткости можно использовать в качестве классификационного признака, связанного с видом функции принадлежности непрерывного нечеткого множества с ограниченным носителем. Построенная таким образом классификация может быть полезна при обосновании выбора вида функции принадлежности в зависимости от степени неопределенности предметной области, моделируемой в терминах теории нечетких множеств.

Библиографический список

1. A. De Luca and S. Termini. A Definition of a Nonprobabilistic Entropy in the Setting of Fuzzy Sets Theory // Information and control 20, 301-312 (1972).
2. B. Kosko. Fuzzy entropy and conditioning // Information Sciences, vol. 40, no. 2, pp. 165–174, 1986.
3. Kaufmann, A. Introduction a la theorie des sous-ensembles flous Paris etc., 1977.
4. Yager, R.R. On the Measure of Fuzziness and Negation Part I: Membership in the Unit Interval // International Journal of General Systems, 5, 221-229, 1979.
5. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and Control. - 1965. - V. 8. - P. 338-353.

УДК 51-76, 614.777; ГРНТИ 27.35.43, 87.01.81

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ ОКИ КАК ОСНОВНОГО ИСТОЧНИКА ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА РЯЗАНИ (НА ПРИМЕРЕ СОКОЛОВСКОГО ВОДОЗАБОРА)

Н.И. Карасева, М.Н. Дмитриева, Д.В. Кулюкин

*Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова,
Россия, Рязань, karaseva.18@mail.ru, dmitrm05@mail.ru, danila.kulyukin@gmail.com*

Аннотация. В данной работе описана методика проведения интегральной оценки качества питьевой воды на основе вычисления индекса качества воды, проведен сравнительный анализ данных, полученных за пять лет.

Ключевые слова. Индекс качества воды, метод Дельфи, предельно допустимая концентрация, водоисточник

INTEGRATED ASSESSMENT OF OKA RIVER WATER QUALITY AS A MAIN SOURCE OF ECONOMIC-DRINKING WATER SUPPLY OF RYAZAN CITY (ON THE EXAMPLE OF SOKOLOVSKY WATER RESERVOIR)

N.I. Karaseva, M.N. Dmitrieva, D.V. Kulyukin

Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov:

Russia, Ryazan, karaseva.18@mail.ru, dmitrm05@mail.ru, danila.kulyukin@gmail.com

Abstract. This paper describes the methodology for conducting an integrated assessment of the quality of drinking water based on the calculation of the water quality index, a comparative analysis of the data obtained over five years is made.

Keywords. Water quality index, Delphi method, maximum permissible concentration, water source

Сложившаяся в последние годы в РФ неблагоприятная ситуация в хозяйственно-питьевом и культурно-бытовом водопользовании населения, обусловленная, прежде всего, мощным антропогенным загрязнением водоисточников, определяет актуальность развития как теоретических и методических основ гигиенического регламентирования антропогенных

нагрузок на водные объекты, так и комплексной эколого-гигиенической оценки их санитарного состояния и качества воды.

В процессе контроля состояния поверхностных водоисточников определяется большое количество органолептических, химических, микробиологических и радиологических показателей. Общепринятым подходом в оценке качества воды является сравнение лабораторных результатов со значениями предельно допустимых концентраций (ПДК), установление кратности и повторяемости превышения ПДК измеренных концентраций каждого ингредиента. Однако следует сказать, что этот подход не дает четкого представления о суммарном загрязнении водных объектов, прежде всего, из-за отсутствия сопоставимости отдельных показателей [2].

Благодаря современным разработкам гигиенистов в настоящее время применяются различные методы комплексной оценки загрязненности поверхностных вод, которые позволяют определить обобщенные числовые характеристики качества воды с учетом имеющихся показателей. К таким комплексным показателям относится, например, индекс качества воды, коэффициент загрязненности и другие. Основным подходом при оценке качества воды реки Оки всеми заинтересованными службами является определение нестандартных проб по контролируемым показателям. Методы комплексной оценки, как наиболее прогрессивные и дающие представление о суммарном загрязнении до настоящего времени на территории Рязанской области не применялись. В связи с этим возникла необходимость впервые провести интегральную оценку воды реки Оки как источника водоснабжения полумиллионного города Рязани, характеризующегося значительным антропогенным загрязнением.

Основной водоисточник г. Рязани представлен поверхностными водами р. Оки. На втором месте по объемам потребления находятся подземные водоисточники – артезианские межпластовые воды Подольско-Мячковского, Каширского и Окско-Протвинского водоносных горизонтов.

Водоотбор из поверхностного источника для хозяйственно-питьевых целей осуществляется тремя водозаборными станциями МП «Водоканал города Рязани» (Окская, Борковская, Соколовская) общей проектной производительностью 227 тысяч кубических метров в сутки очищенной воды. Причем Борковская водозаборная станция расположена выше по течению р. Оки относительно г. Рязани, Соколовская и Окская - ниже по течению.

Целью нашей работы явилась интегральная оценка качества воды поверхностного источника хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Рязани (р. Ока, Соколовский водозабор). В этой ситуации адекватная оценка качества воды источника водоснабжения современным и объективным методом, которым является интегральная оценка, является ключевым моментом в системе мероприятий, направленных на смягчение антропогенной нагрузки со стороны хозяйственной деятельности города Рязани на водоем, и, как следствие, обеспечение эпидемической безопасности водопользования. Данной работой предпринята попытка апробации метода интегральной оценки качества воды водоисточника, способного заменить существующую громоздкую систему оценки.

Сущность интегральной оценки – трансформация в одну единственную цифру всего комплекса данных, получаемых при мониторинге качества воды: микробиологических, радиологических, санитарно-токсикологических и органолептических. Интегральная оценка представляет собой математическое моделирование комбинированного влияния факторов, измеряемых в разных единицах, имеющих разное значение для установления качества воды и часто неравных по действию на здоровье человека.

Наибольшее распространение, как в зарубежной практике, так и в нашей стране, в последнее время получила интегральная оценка состава и свойств воды путем расчета индекса качества воды (ИКВ). Впервые концепция ИКВ как инструмента для характеристики состояния водоисточников была предложена R.K. Horton в 1965 г. За последующие 50 лет разработано множество разных методов расчета ИКВ в разных странах, однако в мировом масштабе

единства в методологии интегральной оценки качества воды с помощью ИКВ до настоящего времени нет [3]. Одним из таких методов, который позволяет уравновесить неэквивалентность разных критериев вредности, является метод Дельфи. В данной работе проведен расчет и анализ показателей интегральной оценки качества воды водоисточника с Соколовского водозабора, который располагается на реке Оке ниже по ее течению относительно г. Рязани.

Для интегральной оценки был проведен расчет одного из комплексных показателей индекса качества воды (ИКВ) методом Дельфи. Данный метод позволяет уравновесить неэквивалентность разных критериев вредности с помощью коэффициентов К. Значения коэффициентов в зависимости от критериев и степени значимости для здоровья человека следующие:

- ✓ санитарно-токсикологический критерий – канцерогенные вещества, $K=5$;
- ✓ не канцерогенные вещества, $K=4$;
- ✓ микробиологический критерий, $K=3$;
- ✓ радиологический критерий, $K=2$;
- ✓ органолептический критерий, $K=1$.

Рассчитанный таким образом ИКВ объективно показывает качество воды по всем четырем критериям вредности.

Для расчета индекса качества воды (ИКВ) была применена следующая формула:

$$\text{ИКВ} = 5\sum C/\text{ПДК} (\text{канцерогенных веществ}) + 4\sum C/\text{ПДК} (\text{не канцерогенных веществ 1 и 2 классов опасности}) + 4\sum C_{\text{max}}/\text{ПДК} (\text{для веществ 3-го класса опасности с санитарно-токсикологическим показателем вредности}) + 3\sum C_{\text{max}}/\text{ПДК} (\text{для ОКБ или ОМЧ}) + 2\sum C/\text{ПДК} (\text{радиологических показателей}) + \sum C_{\text{max}}/\text{ПДК} (\text{для каждого из видов влияния на органолептические свойства воды}),$$

где С – концентрация веществ в пробе воды;

C_{max} – максимальная концентрация веществ;

ПДК – предельно допустимая концентрация данного вещества.

По указанной формуле были проведены расчеты ИКВ с учетом санитарно-химических, микробиологических, радиологических и органолептических показателей качества воды реки Оки Соколовского водозабора, представленных МП «Водоканал города Рязани» за 5 лет (2012-2016 гг). Всего проанализировано 40553 проб по 43 показателям. Из них санитарно-химические - 28, микробиологические - 4, радиологические - 3, органолептические - 4. Среди санитарно-химических показателей один канцерогенный - свинец (СанПиН 1.2.2834–11. "Канцерогенные факторы и основные требования к профилактике канцерогенной опасности" Дополнения и изменения 1 к СанПиН 1.2.2353–08). Для всех показателей были определены их гигиенические нормативы, рассчитаны отношения реальных значений показателей к их ПДК. Для химических веществ определены классы опасности и лимитирующие показатели вредности согласно нормативным документам СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», ГН 2.1.5.1315-03. «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». Среди контролируемых показателей были выделены канцерогенные вещества – свинец; неканцерогенные вещества 1 и 2 класса опасности (алюминий, бор, никель, нитриты, стронций, фториды, барий, формальдегид, кобальт, литий), вещества 3 класса опасности с санитарно-токсикологическим показателем вредности (медь, молибден, нитраты), вещества, лимитирующий показатель которых органолептический (азот аммонийный, железо, нефтепродукты, ПАВ, магний, марганец, сульфаты, хлориды), микробиологические (общие колиформные бактерии, термотолерантные колиформные бактерии, колифаги), радиологические (суммарная альфа активность, суммарная бета активность, активность радона).

По методу Дельфи были проведены расчеты ИКВ по минимальным, максимальным и среднегодовым концентрациям в пробах, отобранных в месте водозабора на Соколовской водозаборной станции за период 2012-2016 гг. Для поведения анализа (построение таблиц, графиков, проведение расчетов) использовались средства табличного процессора и статистические методы [4-7].

Анализ полученных результатов выявил неравномерность распределения ИКВ по максимальным и среднегодовым концентрациям за наблюдаемый период. По минимальным концентрациям данные находятся практически на одном уровне. В целом динамика не имеет однонаправленности. Так, ИКВ по максимальным, среднегодовым и минимальным показателям снижается: по минимальным с 11,2 в 2012 году до 10,7 в 2015 году, по максимальным с 57,8 в 2012 году до 31,3 в 2014 году и до 38,9 в 2016, по среднегодовым также снижается с 24,4 в 2012 году до 17,9 в 2014 году и 20,6 в 2016 году.

Следует сделать акцент на индексы качества воды, рассчитанные по максимальным показателям. Они существенно отличаются от среднегодовых и минимальных. Так в 2012 году минимальный – 11,2, среднегодовой – 24,4, максимальный – 57,8. В 2016 году минимальный – 11,3, среднегодовой – 20,6, максимальный – 38,9.

Проведенная интегральная оценка качества воды водоисточника на примере Соколовского водозабора позволила получить обоснованные выводы о качестве воды в целом, увидеть проблему в динамике и обозначить реальную угрозу хозяйственно-питьевому водоснабжению города Рязани в связи с нарастающей антропогенной нагрузкой на реку Оку. В связи с этим очевидна потребность в проведении мероприятий, направленных на поддержание экологически приемлемого состояния водного объекта. В первую очередь, заинтересованным ведомствам необходимо обосновать и разработать мероприятия, направленные на восстановление и охрану качественного состояния воды в реке Оке с учетом прогнозируемых результатов.

Библиографический список

1. Красовский Г.Н., Рахманин Ю.А., Егорова Н.А. Гигиеническое обоснование оптимизации интегральной оценки питьевой воды по индексу качества воды // Гигиена и санитария, 2015. - №5. – С. 5-10.
2. Мельцер А.В., Ерастов Н.В., Киселев А.В. Опыт реализации метода интегральной оценки питьевой воды по показателям химической безвредности в Санкт-Петербурге // Гигиена и санитария, 2013. - №5. С. 31-33.
3. Красовский Г.Н., Рахманин Ю.А., Егорова Н.А., Малышева А.Г., Михайлова Р.И. Гигиенические основы Формирования перечней показателей для оценки и контроля безопасности питьевой воды // Гигиена и санитария, 2010. - №4. – С. 8-13.
4. Дмитриева М.Н. Описательная статистика в MS EXCEL / Материалы межрегиональной научной конференции с международным участием Рязанского государственного медицинского университета им. акад. И.П. Павлова. Под общей редакцией В.А. Кирюшина, 2014. - С. 362-365.
5. Дмитриева М.Н. Показатели вариации признака и их значение в статистической обработке данных медицинских исследований / Материалы ежегодной научной конференции, посвященной 70-летию основания Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова под общ. ред. Заслуженного работника высшей школы Российской Федерации, проф. В.А.Кирюшина. Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова, 2013. - С. 382-383.
6. Дмитриева М.Н., Морозова Д.П. Исследование зависимости заболевания гриппом от вакцинации методами непараметрической статистики / Материалы ежегодной научной конференции Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова, посвященной 65-летию работы университета на Рязанской земле 2015. - С. 281-282.
7. Кабанов А.Н., Дорошина Н.В., Дмитриева М.Н. Статистический анализ данных и процессов с помощью программы MS EXCEL и аналитической платформы DEDUCTOR при обучении студентов медицинского вуза / Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2016: сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет; Под общей редакцией О.В. Миловзорова. 2016. - С. 80-83.

УДК 519.252; ГРНТИ 50.49.37

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ КОРПОРАТИВНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ БИЗНЕС-АНАЛИЗА QLIKVIEW

К. Миронова*, В. Миронов****ООО «Системы управления БЭСТ», Россия, Рязань, k.mironova@best.ryazan.ru**** Рязанский государственный радиотехнический университет, Россия, Рязань, mironov.v.v@rsreu.ru**Аннотация.* Рассматривается применение системы бизнес-анализа QlikView для обработки корпоративных данных.*Ключевые слова.* Бизнес-анализ, система, корпоративные данные, интерфейс приложения

PROJECTING CORPORATE DATA PROCESSING ON THE BASIS OF THE QLIKVIEW BUSINESS ANALYSIS SYSTEM

K. Mironova *, V. Mironov ****LLC "Control Systems BEST", Russia, Ryazan, k.mironova@best.ryazan.ru**** Ryazan State Radio Engineering University, Russia, Ryazan, mironov.v.v@rsreu.ru**Abstract.* The application of the QlikView business analysis system for processing corporate data is considered.*Keywords.* Business analysis, system, corporate data, application interface

Введение

В настоящее время в работе крупных предприятий часто встает вопрос анализа больших объемов информации и быстрого поиска по всем источникам. Многие крупные компании нуждаются в качественных и быстродействующих системах бизнес-аналитики, т.к. совершенно точно известно, что она является ключом к пониманию собственного бизнеса [6].

Существует множество учетно-аналитических систем. QlikView является одной из наиболее востребованных и мощных систем бизнес-аналитики.

QlikView - это современная система бизнес-анализа (Business Intelligence (BI)), BI-платформа, которая обеспечивает консолидацию информации из различных источников в режиме реального времени и отображает ее графическое представление в удобном и наглядном виде. BI — это методы и инструменты для перевода необработанной информации в осмысленную, удобную форму. Технологии BI обрабатывают большие объемы неструктурированных данных, чтобы найти стратегические возможности для бизнеса [1]. Исследование ассоциативных связей, совместная работа и коллективное принятие решений, возможность работы на мобильных устройствах делает данную систему настоящим мировым лидером в данной области [3].

Получение данных в традиционных системах часто представляет собой сложную задачу, требующую обширных знаний структуры баз данных и синтаксиса языка запросов. Пользователь часто вынужден использовать предварительно определенные процедуры поиска. QlikView кардинально меняет подход к получению данных путем обеспечения возможности произвольного выбора любых данных на экране одним лишь щелчком мыши.

С помощью приложений, созданных в системе QlikView (далее – приложений QlikView) можно легко увидеть общую картину представления большого и сложного набора данных и обнаружить подключения к их источникам. Можно интегрировать информацию из различных источников, чтобы быстро сделать ее доступной по сети. QlikView реализует ассоциативную архитектуру с обработкой данных в оперативной памяти. Управление взаимосвязями между данными осуществляется на уровне внутренних механизмов платформы [4]. Ассоциативность архитектуры состоит в том, что именно пользователь, а не база данных, определяет, какие вопросы следует задавать. Отличие QlikView от стандартных систем поиска информации, которые часто требуют применения подхода сверху-вниз, состоит в возможности начала поиска с любого элемента данных независимо от его местоположения в структуре данных.

Возможности QlikView включают в себя:

- создание интерфейса пользователя с гибкими возможностями для доступа к хранилищу информации;
- получение моментальных снимков связей между данными;
- создание презентаций на основе анализируемых данных;
- создание динамических графических диаграмм и таблиц;
- выполнение статистического анализа;
- создание взаимосвязи описания и мультимедиа с данными;
- создание собственных экспертных систем;
- создание новых таблиц, объединение информации из нескольких источников;
- создание собственной системы бизнес-анализа [2].

QlikView сжимает данные и сохраняет их в памяти, где к ним моментально может получить доступ множество пользователей. Если набор данных слишком велик для размещения в памяти, программа QlikView подключается напрямую к источнику данных. Пользователь может выбрать любое место начала работы и какое угодно направление; в программе отсутствуют заранее настроенные пути детализации и информационные панели [2].

Цель работы - показать широкие возможности системы бизнес-аналитики QlikView на примере реального предприятия.

Постановка задачи. На примере одной из таблиц приложения, дающей информацию о товарообороте розничной сети предприятия в денежном отношении, показать наиболее интересный функционал среды QlikView. Источниками данных является система 1С исследуемого предприятия, сборка и формирование производится с помощью инструментария QlikView. Требования заказчика:

- временной интервал отображения информации составляет 10 недель, предшествующих конкретной дате, выбранной в календаре (динамическая концепция),
- необходимо произвести цветовое форматирование таблицы в соответствии с указанными фильтрами.

Реализация

Приложение с точки зрения пользователя представляет собой файл с расширением .qvw (сокращенно от QlikView). Интерфейс пользователя прост в управлении, пример его показан на рисунке 1.

Еженедельная справка ООО "КомПромМебель"

за период с 01.02.2017 г. по 12.02.2017 г.

Период	Продажи	Итого	Мебель	Итого	4 категории	Мебель	Итого	Календарь	ТЦ Горький	Итого	Итого	Итого
05.12-11.12	722 853	103 323	265 848	294 425	112 889	205 245	127 245	73 008	149 983	159 323	0	1 967 140
12.12-18.12	544 337	179 722	205 860	279 383	77 084	47 132	133 245	133 245	149 983	159 323	0	2 420 092
19.12-25.12	1 124 953	538 747	251 424	773 117	127 334	11 490	81 636	89 045	113 779	149 983	0	3 099 236
26.12-01.01	880 761	244 386	205 842	42 900	126 973	0	122 644	506 275	203 702	159 983	127 401	3 678 818
02.01-08.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09.01-15.01	520 075	293 113	181 211	146 341	471 032	0	127 245	149 983	117 606	149 983	0	2 113 262
16.01-22.01	780 734	316 071	205 848	147 432	147 432	0	147 432	149 983	149 983	149 983	0	2 113 262
23.01-29.01	127 621	205 245	205 848	147 432	147 432	0	147 432	149 983	149 983	149 983	0	2 113 262
30.01-05.02	763 525	104 576	110 477	409 135	126 491	0	127 245	149 983	149 983	149 983	0	2 113 262
06.02-12.02	634 246	205 245	50 372	211 853	12 463	0	147 432	149 983	149 983	149 983	0	2 113 262

Рис. 1. Пример рабочего окна приложения QlikView

Окно приложения представляет собой стандартную панель управления и вкладки с интересующей информацией. Визуализация данных происходит после написания кода в разделе скрипта и его запуска на обработку. Скрипт написан на основе языков программирования SQL, MySQL, но они представлены в адаптированном под среду QlikView виде. Пример окна редактора скрипта показан на рисунке 2

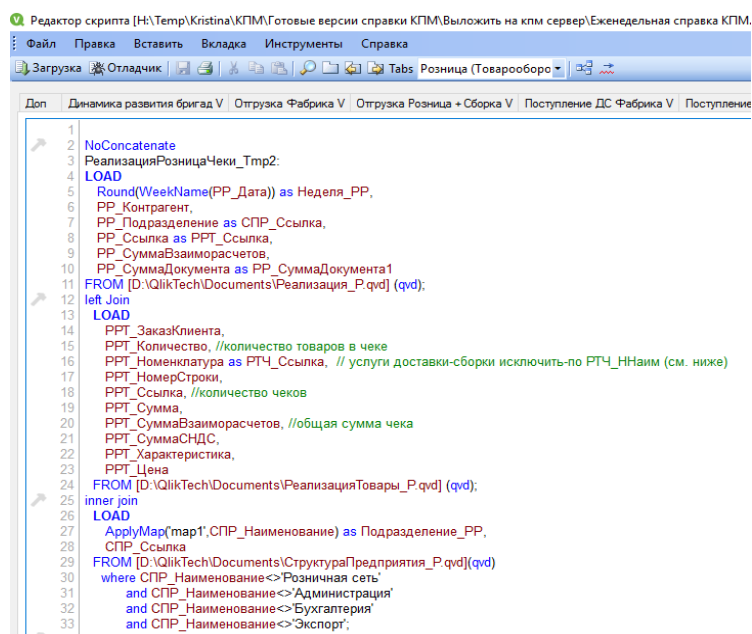


Рис.2. Редактор скриптов

Таблицы, которые впоследствии будут отображены в приложении, выгружаются из файлов с расширением .qvd, который предварительно были загружены с помощью QlikView из первоначальных источников, предоставленных заказчиком. Наименование файлов выбирается непосредственно разработчиком для удобства использования и не имеет жесткой регламентации.

Наиболее интересная функциональность QlikView будет показана на примере таблицы Товарооборот (рис. 3).

Товарооборот, руб.															XL	
Период	Премиум	Ногиск	Мебель России-1	Королев	4 комнаты	Мебель России-2	Мебель России-3	Колонна	ТЦ Город	НИТИ	Империя	Барс Bizzaro	Интернет- магазин	ИТОГО		
05.12-11.12	722 863	109 728	381 415	291 425	112 888	270 265	120 265	187 295	70 020	149 881	116 323	0	434 773	2 967 140		
12.12-18.12	544 337	178 712	201 860	270 183	77 008	47 192	213 142	192 137	199 572	156 254	166 711	0	180 985	2 428 092		
19.12-25.12	1 224 959	926 707	251 434	773 117	137 334	11 490	81 836	806 085	113 770	383 199	81 597	0	307 699	5 099 226		
26.12-01.01	880 760	244 186	285 562	42 990	326 975	0	122 666	506 295	203 932	190 551	120 489	200 800	553 613	3 678 818		
02.01-08.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
09.01-15.01	502 575	293 111	183 211	546 999	421 602	0	137 283	384 990	117 806	189 904	49 491	0	233 267	3 060 238		
16.01-22.01	750 734	315 571	326 059	147 657	66 633	0	15 892	211 343	205 364	270 004	0	0	224 207	2 533 463		
23.01-29.01	574 621	365 260	260 683	379 128	199 697	0	222 949	122 356	132 220	255 857	268 837	71 370	366 181	3 219 158		
30.01-05.02	963 928	134 578	133 477	404 110	116 491	0	37 386	187 007	245 633	213 309	206 061	0	262 025	2 904 003		
06.02-12.02	634 240	266 248	50 372	211 003	92 457	0	141 173	720 462	67 290	104 931	167 153	0	235 814	2 691 141		

Рис. 3. Таблица «Товарооборот»

Используемые файлы с расширением .qvd:

- Реализация_P.qvd
- РеализацияТовары_P.qvd
- Номенклатура_P.qvd

Для создания таблицы (рис. 3) необходимы измерения, и рассчитываемые по ним выражения. Их необходимо вписывать в свойства таблицы при ее создании либо редактировании. Окно свойств открывается при нажатии по таблице правой клавишей мыши (рис. 4), либо (при создании «с нуля») – правой кнопкой мыши по пустому месту окна приложения и выборе в меню «Новый объект листа»- «Диаграмма» (рис. 5).

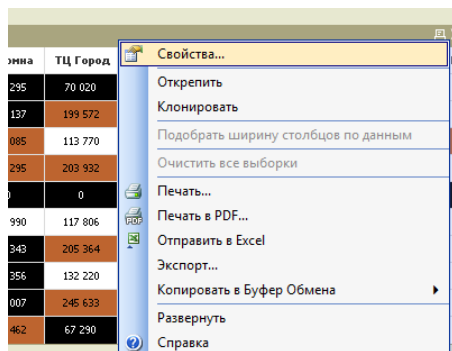


Рис. 4. Меню таблицы

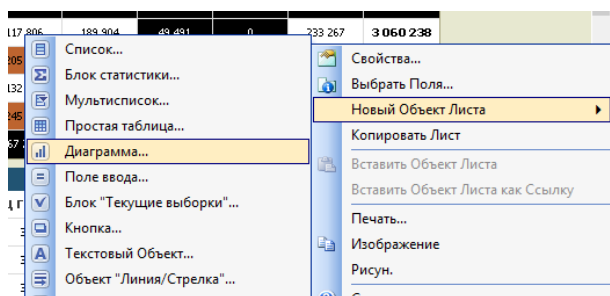


Рис. 5. Меню листа

Далее разработчиком задаются определенные параметры на соответствующих вкладках. К примеру, на вкладке «Общие» задается вид диаграммы (Сводная таблица). Измерением является поле «Подразделение» (т.к. необходимо отображать информацию по розничной сети предприятия). Поле, содержащее временной диапазон, в измерениях не задается, т.к. по концепции, указанной заказчиком, таблица должна содержать динамичные данные и отображаться в зависимости от конкретной выбранной даты (выбор происходит с помощью календаря, который был разработан исполнителем в приложении). На вкладке «Выражения» окна «Свойства» задаются рассчитываемые выражения. Они являются составными и содержат: метку, описание, комментарий (в случае необходимости) и условие (в случае необходимости) (рис. 6).

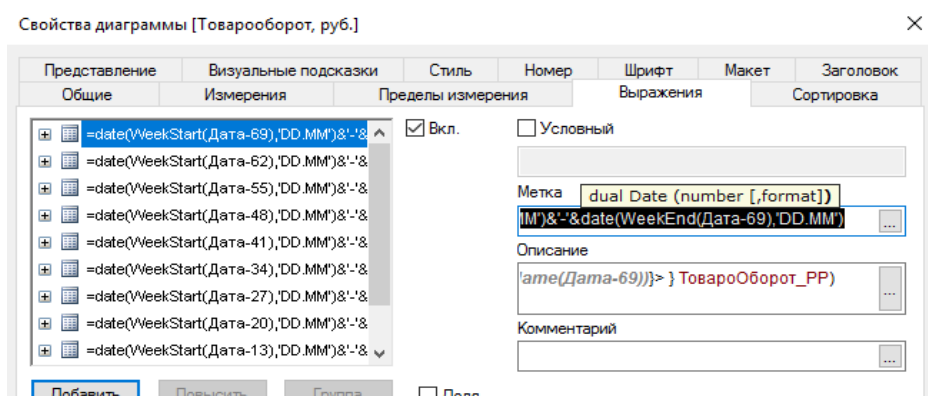


Рис. 6. Вкладка «Выражения» окна «Свойства»

Согласно концепции справки, описаны 10 выражений с соответствующими метками и описанием. Метка – отображает формат даты в столбцах (или в строках, в зависимости от настраиваемого вида отображения) таблицы, описание – рассчитывает значение выражения. Метка и описание формируются в соответствии с синтаксисом приложения.

Например, для первой строки таблицы метка имеет вид, показанный на рис. 7:

Expression OK
1 =date(WeekStart(Дата-69),'DD.MM')&'-'&date(WeekEnd(Дата-69),'DD.MM')

Рис. 7. Метка выражения

где `date({...}, 'DD.MM')` – встроенная функция отображения даты в формате День-Месяц; `WeekStart()`, `WeekEnd()` – встроенные функции отображения начала и конца недели; «Дата» – наименование поля расчета. Метка отображает дату в виде «Начало недели – Конец недели».

В выражениях могут быть использованы как стандартные встроенные функции простого формата, так и функции Анализа множеств. Анализ Множеств (Set Analysis) – одна из основ построения сложных приложений QlikView [7]. Множество (рис. 8) – это ограниченный набор данных, который задается с помощью специального синтаксиса.

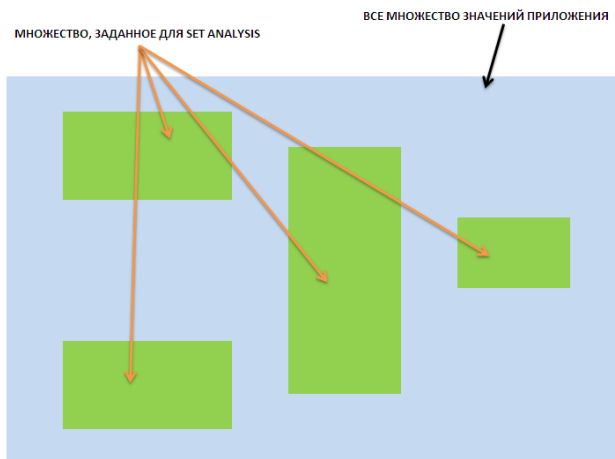


Рис. 8. Визуализация понятия множества в QlikView

Анализ множеств позволяет обрабатывать ограниченный набор данных, на которые не влияют текущие выбранные данные (фильтры). Фактически, множества задают контекст в выражении, в разрезе которого происходит анализ данных.

Множества описываются в QlikView при помощи фигурных скобок `{}`. Далее описываются основные синтаксические элементы, которые используются для задания или модификации множества, а именно идентификаторы, операторы (сложения, вычитания, умножения, деления) и модификаторы. Существуют такие идентификаторы множеств: 0, 1 и \$, а также их комбинации. В зависимости от выбранного идентификатора формируются выражения. Модификатор состоит из одного или нескольких имен полей, за каждым из которых следует выборка, которая должна быть составлена на основе поля и заключена в скобки: `<` и `>`.

Описание для первой строки таблицы имеет вид анализа множеств (рис. 9)

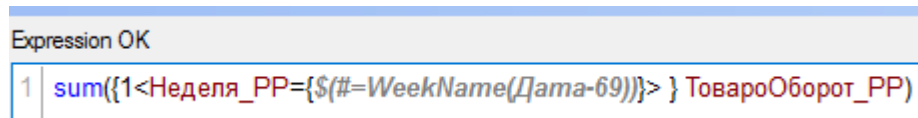


Рис.9. Описание выражения

Здесь sum() – встроенная функция суммы, «Неделя_PP», «ТовароОборот_PP» – наименование полей для расчета. 1 – идентификатор множества. В строке рассчитывается значение на дату, равную текущей минус 10 недель.

На рисунке 9 идентификатор {1} означает игнорирование текущей выборки и учет измерения.

В вышеуказанном примере (рис. 9) товарооборот (поле «Товарооборот_PP») рассчитывается на основе выборки по указанной неделе (поле «Неделя_PP»).

Все оставшиеся 9 выражений описываются аналогично, изменяются только условия формирования выборки по неделям (вычитается необходимое количество дней).

Цветовое форматирование представляет собой условия, прописанные для каждого выражения. В конкретном примере, заказчиком определены следующие условия:

- Значение ячейки / Среднее значение ячеек строки > 30% - оранжевый цвет фона,
- Значение ячейки / Среднее значение ячеек строки < 30% - черный цвет фона, белый цвет текста

Условия прописываются в полях «Цвет фона» и «Цвет текста» для каждого выражения (рис. 10).

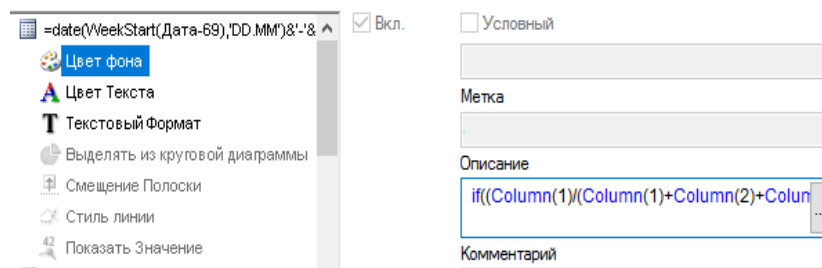


Рис. 10. Настройка форматирования выражений

В случае необходимости, разработчиком указываются условия сортировки (на вкладке «Сортировка» окна Свойств), пределы измерения (вкладка «Пределы измерения»), отображение текстовых и числовых значений в таблице (вкладка «Представление»), формат отображаемых значений (вкладка «Номер») и другие свойства таблицы (размер, позиция в окне приложения и т.п.).

Столбец «ИТОГО» формируется автоматически при указании в окне Свойств (вкладка «Представление») опции отображения итогов.

Таблицу можно экспортировать как на печать, так и в Excel. Существует возможность формирования отчетов, конкретизированных под заказчика.

Более подробное описание функционала можно найти в руководствах по использованию приложений QlikView (см. например, [7]). Их широкий выбор представлен и в Интернете.

Выводы

На примере построения таблицы показан наиболее интересный функционал приложения QlikView. Само по себе приложение может содержать то количество таблиц, схем, графиков, которое необходимо заказчику.

В результате, можно сказать что QlikView максимально упрощает задачу бизнес-анализа для пользователей, позволяет наглядно отображать данные и взаимодействовать с ними любыми удобными способами. При этом возможности пользователя не ограничены предопределенными уровнями детализации, статичными графиками или заранее настроенными отчетами [6]. BI система QlikView работает с уже имеющимися данными, не изменяя их, а просто забирая необходимую для анализа информацию. Так же важно отметить, что QlikView, помимо вышеуказанных, обладает следующими возможностями [5]:

1. объединение данных разных источников — 1С, Excel, SQL, Web и других баз данных, хранилищ, данные счётчиков посетителей и кассовых систем, Google Analytics, текстовые файлы;

2. простота создания отчетов — информационно-техническая служба выполняет функцию поддержки, пользователь сам строит отчёты на базе имеющего функционала в QlikView;

3. сквозной анализ – набор фильтров, применённых в рамках документа, представляет данные по всем аналитическим срезам (отчётам) в соответствии с выбором пользователя;

4. современный интерфейс drag&drop — выборки, выделение исключений, «проваливание» в глубь данных одним кликом мыши;

5. все подразделения работают с одинаковыми показателями, метриками и измерениями – в одной системе;

QlikView освобождает пользователя от необходимости ручной подготовки отчётов, что высвобождает значительную часть эффективного рабочего времени сотрудников, исключает человеческий фактор и возможные разногласия при обсуждении конкретных вопросов.

Система может иметь продолжение и в других областях применения [8-12].

Библиографический список

1. Интернет-ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki/QlikView> Дата просмотра: 20.03.2017
2. Интернет-ресурс: <https://help.qlik.com/ru-RU/qlikview/12.1/Content/what-is.htm> Дата просмотра: 15.03.2017
3. Интернет-ресурс: <http://www.1cbit.ru/services/projects/qlikview/> Дата просмотра: 12.03.2017
4. Интернет-ресурс: <http://www.rbcgrp.com/qlikview-architecture.html> Дата просмотра: 20.03.2017
5. Интернет-ресурс: <http://4analytics.ru/qlikview-programma-dlya-biznes-analiza-skachat.html> Дата просмотра: 20.03.2017
6. Интернет-ресурс: <http://1solution.ru/produkty-i-uslugi/qlikview/qlikview.html> Дата просмотра: 10.03.2017
7. Интернет-ресурс: <http://ivan-shamaev.ru/qlikview-theory-and-practice/> Дата просмотра: 07.03.2017
8. Миронов В.В. Обработка последовательностей спектров с гарантированной точностью при произвольной корреляции шумов// Автометрия.1993. № 1. С. 110-116.
9. Mironov V.V. A Comparison of Systems for Recording Space Debris // Cosmic Research, 1996. V.34. № 4. P. 382-386. (англ).
10. Миронов В.В., Северцев Н.А. Методы анализа устойчивости систем и управляемости движением./ ВЦ РАН.- М.: Изд-во РУДН, 2002. 165 с.
11. Mironov V.V. A technique for estimating the space debris density from the data of onboard recording systems // Cosmic Research. 2003. Т. 41. № 2. С. 204-208.
12. Миронов В.В., Бухенский К.В., Заволокин А.И., Розанов А.К. Информационная система «Электронный русско-английский словарь математических терминов» (**Комплекс программ**). (Одобен НМС по математике при Минобрнауки РФ) . - Москва, РАО Объединенный фонд электронных ресурсов «Наука и образование». 2013. Издание 1.2 (исправленное и дополненное). Пер № 18 951; 7.10 Мб.

УДК 517.31; ГРНТИ 27.23.17

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА НЕОПРЕДЕЛЕННЫЙ ИНТЕГРАЛ

В. Миронов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, mironov.v.v@rsreu.ru*

Аннотация. Предлагается новое определение неопределенного интеграла, формально строгое, в отличие от известных «определений», и одновременно сочетающееся с традициями.
Ключевые слова. Неопределенный интеграл, определение.

A NEW VIEW ON INDEFINITE INTEGRAL

V. Mironov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, mironov.v.v@rsreu.ru*

Abstract. A new definition of an indefinite integral is proposed, formally strict, unlike known "definitions," and simultaneously combined with traditions.

Keywords. Indefinite integral, definition

Введение

Противоречивость известных «определений» неопределенного интеграла хорошо известна и связана, в основном, с желанием авторов соединить внутреннюю простоту объекта с внешней сложность его формальной выразимости [1 – 30].

Это противоречие устраняется в данной заметке: вводится новое фундаментальное, неопределяемое понятия – класс функций (соизмеримое по значимости с понятием множество), и через него выражается неопределенный интеграл.

Введение в рассмотрение класса функций и алгебраических операций на множестве классов функций превращает расплывчатый раздел математического анализа «интегральное исчисление» в строгий математический объект «универсальная алгебра на множестве классов».

Приводимое новое определение формально строго, в отличие от известных «определений», и одновременно сочетается с традициями.

Реализация. Класс функций

Напомним (для пользы дела) что **множество** — это из фундаментальных [математических](#) понятий, не имеющее формального определения, обоснованное в [теории множеств](#) и алгебре [логики](#).

В прикладных (нестрогих) разделах математики понятие множества вводится описательно через примеры и другие нестрогие понятия совокупность, набор и т.п., мыслимые, как единое целое. В строгих разделах математики множество вводится, как неопределяемое понятие, а его свойства описываются аксиоматически, при этом аксиом этих достаточно, чтобы отличить множество от любых других объектов.

Некоторые из аксиом до сих пор вызывают дискуссии, такие, к примеру, как аксиома выбора Цермело (позволяющая убрать скобки, объединяющие элементы в множество), а некоторых, по мнению автора, недостает, к примеру, такой, как аксиома сбора, двойственной к аксиоме выбора, позволяющей расставить скобки, собрав отдельные элементы в множество.

На множествах вводятся алгебраические операции, позволяющие работать с множествами и создать на этой базе алгебру множеств или алгебру логики, а также использовать введенные понятия как для фундаментальных, так и для прикладных исследований [31 – 44].

Аналогично понятию «множество» введем понятие **«класс функций»**. Этот математический объект (мыслимый как единый), как и множество, состоит из отдельных элементов (или компонентов или представителей) – функций и обозначается, как $K = [f(x)]$, при этом функция $f(x)$ (область определения и область значения которой естественные) – это пред-

ставитель (элемент) класса K . Отличие класса от множества проявляется (по определению) в операциях над классами функций. Дадим следующие определения на множестве классов $\Omega = \{K\} = \{[f(x)]\}$:

1. *Операция отождествления классов:* $K_1 = [f(x)], K_2 = [g(x)], K_1 = K_2 \Leftrightarrow (\forall f \in K_1)(\exists g \in K_2) f(x) = g(x)$ с точностью до множества меры нуль.
2. *Операция сложения классов:* $K_1 = [f(x)], K_2 = [g(x)], K_1 + K_2 = [f(x) + g(x)]$.
3. *«Операция» умножения класса на число:* $K_1 = [f(x)], c \in \mathbf{R}, c \cdot K_1 = [c f(x)]$, при этом знак умножения можно опускать: $c \cdot K_1 = c K_1$
4. *Операция внешнего умножения класса на класс:* $K_1 = [f(x)], K_2 = [g(x)], K_1 \cdot K_2 = [f(x) \cdot g(x)]$, при этом знак умножения можно опускать: $K_1 \cdot K_2 = K_1 K_2$.
5. *Операция внутреннего умножения (суперпозиции) класса на класс:* $K_1 = [f(x)], K_2 = [g(x)], K_1 \circ K_2 = [f(x) \circ g(x)] = [f(g(x))]$, при этом знак умножения опускать нельзя.
6. *Операция взятия внутреннего обратного класса.* Если все функции класса $K_1 = [f(x)]$ обратимы, то $K_1^{-1} = [f^{-1}(x)]$.
7. *Операция взятия внешнего обратного класса.* Если все функции класса $K_1 = [f(x)]$ отличны от нуля, то $K_1^{-1} = [1/f(x)]$.

Возможны и другие операции.

Введение всех этих операций позволяет построить из множества классов Ω универсальную операторную алгебру – кортеж (еще одно неопределяемое понятие из алгебры) с «короткой» или «длинной» сигнатурой из бинарных, унарных, и нуль-арных операций.

Реализация

Определение неопределенного интеграла. Пусть $f(x)$ – некоторая функция (свойства которой здесь не изучаются). Определенным интегралом от функции $f(x)$ назовем класс функций $K = [F(x)]$, со свойством: $(\forall F(x) \in K) F'(x) = f(x)$, где $F'(x)$ – традиционное обозначение производной. Класс K обозначается, как $K = \int f(x) dx$.

Далее последуют все известные теоремы о неопределенном интеграле, которые доказываются в традиционном виде, но уже *при строгом определении* самого неопределенного интеграла.

Заметим, что класс функций $K = \int f(x) dx$ в данном случае описывается как бы «извне», до его содержания (как и во всех традиционных курсах математического анализа) приходится догадываться. Этот «недостаток» легко обойти, если до неопределенного интеграла рассмотреть (в классическом изложении) определенный интеграл и доказать (традиционным

образом) теорему: $\int f(x) dx = \left[\int_0^x f(t) dt \right]$.

Вывод

В работе вводится новое фундаментальное, неопределяемое понятия – класс функций. Через него выражается классический математический объект – неопределенный интеграл. Такое нововведение превращает расплывчатый раздел математического анализа «интегралы» в строгий математический объект «универсальная алгебра на множестве классов». При этом классический вычислительный аппарат поиска неопределенных интегралов совершенно не нарушается. Все просто и формально строго.

Библиографический список

1. Аксенов А.П. Математический анализ в 4 ч. Часть 1. — Люберцы: Юрайт, 2016. — 282 с.
2. Баврин И.И. Математический анализ / 2-е изд., испр. и доп. — Люберцы: Юрайт, 2016. — 327 с.
3. Балдин К.В., Башлыков В.Н., Рукосуев А.В. Математический анализ: Учебник — М.: Флинта, МПСУ, 2013. — 368 с.
4. Боярчук А.К., Ляшко И.И., Гай Я.Г. Справочное пособие по высшей математике. Т. 3. Часть 2: Математический анализ: кратные и криволинейные интегралы. — М.: ЛИБРОКОМ, 2012. — 256 с.
5. Будаев В.Д., Якубсон М.Я. Математический анализ. Функции одной переменной: Учебник. — СПб.: Лань, 2012. — 544 с.
6. Бутузов В.Ф., Крутицкая Н.Ч., Медведев Г.Н., Шишкин А.А. Математический анализ в вопросах и задачах. 6-е изд., испр. — СПб.: Лань, 2008. — 480 с.
7. Ветина О.И. Математический анализ для экономистов. 2-е изд., перераб.и доп. — СПб.: Лань, 2004. — 344с.
8. Воробьев Е.М. Компьютерный практикум по математике. Математический анализ. Линейная алгебра. — М.: КДУ, 2009. — 604 с.
9. Гаврилов В.И., Макаров Ю.Н., Чирский В.Г. Математический анализ: Учебное пособие для студентов учреждений высшего профессионального образования. — М.: ИЦ Академия, 2013. — 336 с.
10. Горлач Б.А. Математический анализ. — СПб.: Лань, 2013. — 608 с.
11. Демидович Б.П. Сборник задач и упражнений по математическому анализу: Учебное пособие. - 13-е изд., испр. — М.: Изд-во МГУ, 1997. — 624 с.
12. Драгалин А.Г. Конструктивная теория доказательств и нестандартный анализ. — М.: УРСС, 2003. — 544 с.
13. Злобина С.В., Посицельская Л.Н. Математический анализ в задачах и упражнениях. — М.: Физматлит, 2009. — 360 с.
14. Зорич В.А Математический анализ. Часть 1 (6-е изд.). — М.: МЦНМО, 2012. — 702 с.
15. Ильин В.А., Садовничий В.А., Сендов Б.Х. Математический анализ. Ч. 1./ 4-е изд., пер. и доп. Учебник для бакалавров. — Люберцы: Юрайт, 2016. — 660 с.
16. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Глава 6. Неопределенный интеграл // Основы математического анализа. — 1998. — Т. 1. — Курс высшей математики и математической физики.
17. Карташев, А.П., Рождественский Б.Л. Математический анализ. 2-е изд., стер. — СПб.: Лань, 2007. — 448 с.
18. Киркинский А.С. Математический анализ: Учебное пособие для ВУЗов. — М.: Академический проект, 2006. — 526 с.
19. Краснова С.А., Уткин В.А. Математический анализ для экономистов в 2 ч. Часть 1.— Люберцы: Юрайт, 2016. — 298 с.
20. Кытманов А.М., Лейнартас Е.К., Лукин В.Н. Математический анализ: Учебное пособие для бакалавров /под ред. А.М. Кытманова. — М.: Юрайт, 2012. — 607 с.
21. Лоссиевская Т.В. Математический анализ: несобственные интегралы: Учебное пособие. — М.: МИСиС, 2012. — 61 с.
22. Малугин В.А. Математический анализ для экономического бакалавриата 3-е изд., пер. и доп. учебник и практикум. — Люберцы: Юрайт, 2016. — 557 с.
23. Никитин А.А., Фомичев В.В. Математический анализ. Углубленный курс. 2-е изд., испр. и доп. Учебник и практикум для академического бакалавриата. — Люберцы: Юрайт, 2016. — 460 с.
24. Никольский С. М. Курс математического анализа. 6-е изд., стереотип. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. — 592с.
25. Очан Ю.С., Шнейдер В.Е. Математический анализ: учебное пособие. — М.: Альянс, 2016. — 880 с.
26. Просветов Г.И. Математический анализ: задачи и решения: Учебное пособие. — М.: БИНОМ. ЛЗ, 2011. — 208 с.
27. Протасов Ю.М. Математический анализ: Учебное пособие. — М.: Флинта, Наука, 2012. — 168 с.

28. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том 1. М.: Физматлит, 2001. — 616 с.
29. Шершнева В.Г. Математический анализ: сборник задач с решениями: Учебное пособие. — М.: НИЦ ИН-ФРА-М, 2013. — 164 с.
30. Шипачев В.С. Математический анализ. Теория и практика. — М.: Высшая школа, 2009. — 350 с.
31. [Куратовский](#) К, [Мостовский](#) А. Теория множеств / Перев. с англ. М. И. Кратко под ред. А.Д. Тайманова. — М.: Мир, 1970. — 416 с.
32. Столл Р. Р. Множества. Логика. Аксиоматические теории. / Перев. с англ. [Ю.А. Гастева](#) и И.Х. Шмаина под ред. [Ю.А. Шихановича](#). — М.: Просвещение, 1968. — 232 с.
33. Миронов В.В., Чураков Е.П. Вычисление фундаментальной матрицы системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами // Известия вузов. Математика. 1987. № 10. С 78.
34. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Достаточное условие устойчивости непрерывных динамических систем // Вестник РГРТА. Рязань, 1998. Вып. 5. С.95-97.
35. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Устойчивость систем автоматического управления с переменной структурой // Вестник РГРТА. Рязань, 1999. Вып. 6. С. 37-40.
36. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Задача об управляемости систем оптимального регулирования и методы ее решения // Вестник РГРТА: Рязань, 2000. Вып. 7. С. 57-64.
37. Миронов В.В. Единый конструктивный подход к построению функций ляпуновского типа // Известия РАЕН. Дифференц. уравнения. 2001. № 4. С. 52-64.
38. Миронов В.В. Исследование устойчивости решений разностных уравнений Вольтерра // Известия РАЕН. Дифференц. уравнения. 2001. № 5. С. 112-113.
39. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Конструктивное исследование устойчивости решений разностных систем уравнений // Известия РАЕН. Дифференц. уравнения. 2001. № 5. С. 114-115.
40. Миронов В.В., Митрохин Ю.С. Глобальная устойчивость технических систем с переменной структурой. // Космонавтика и ракетостроение. 2001. Вып. 24. С.75-82.
41. Миронов В.В. Методика оценки плотности космического мусора по данным бортовых регистрирующих систем // Космич. исследов. 2003. Т.41. № 2. С. 220 – 224.
42. Mironov, V.V., A.K. Murtazov. Model of Meteoroid Risk in Near-Earth Space // Pleiades Publishing, Ltd., 2015. Vol. 53. No.6.-pp. 430-436.
43. Миронов В.В., Варнавский А.Н., Моделирование зависимости «цена/качество» от параметров трудовой деятельности оператора человека-машинной системы // Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 4. С. 41-48.
44. Миронов В.В., Миронова К.В., Розанов А.К. «Управление в малом» системами в плоском случае // Информатизация образования и науки. - М.: Государственный НИИ ИТ и телекоммуникаций, 2016. - № 3(31). - С. 110-124.

УДК 519.65; ГРНТИ 27.43.15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ФОРМИРУЮЩЕГО ФИЛЬТРА В ЗАДАЧЕ СГЛАЖИВАНИЯ МЕТОДОМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ РАЗЛОЖЕНИЙ.

А.В. Дубовиков, К.А. Ципоркова, Н.И. Ципорков

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, ktsiporkova@list.ru

Аннотация. Предложена и исследована расчетная схема применения модели полезного сигнала в виде формирующего фильтра. Получены и исследованы основные соотношения.

Ключевые слова. Полезный сигнал, ортогональное разложение, ковариационная матрица, виперовский процесс.

USING THE METHOD OF THE FORMING FILTER IN THE PROBLEM OF SMOOTHING THE METHOD OF ORTHOGONAL EXPANSIONS

A.V. Dubovikov, K.A. Tsiorkova, N.I. Tsiorkov

Ryazan State Radiotechnical University,
Russia, Ryazan, ktsiporkova@list.ru

Abstract. The design scheme of application of the useful signal model in the form of forming filter is proposed and investigated. The basic relations are obtained and investigated.

Keywords. Useful signal, orthogonal decomposition, the covariance matrix, liperovsky process.

1. Вектор полезного сигнала $X(t)$ определяется системой дифференциальных уравнений [1]

$$\dot{X} = FX + GU, \quad X(t_0) = X_0, \quad M[x_0] = 0; \quad (1)$$

где $X = (x_1; x_2; \dots; x_n)^T$;

F - $n \times n$ матрица, определяющая динамические свойства полезного сигнала;

$U = (u_1; u_2; \dots; u_n)^T$ - вектор порождающего белого шума ($M[U] = 0$)

$M[UU^T] = Q\delta(t_2 - t_1)$, Q - $k \times k$ матрица интенсивности белого шума);

G - $n \times k$ матрица.

Вектор измерения $Y = (y_1; y_2; \dots; y_n)^T$ связан с полезным сигналом соотношением:

$$Y = HX + V, \quad (2)$$

где H - $m \times n$ матрица измерительного сигнала;

$V = (v_1; v_2; \dots; v_m)^T$ - вектор помех и белого шума: $M[V] = 0$;

$M[VV^T] = N\delta(t_2 - t_1)$ - ковариационная матрица.

2. Оценка полезного сигнала $\hat{X}$ строится на основе разложения измерения по ортонормированной системе функций $\{\varphi_k : \int_0^T \varphi_i(t)\varphi_j(t)dt = \delta_{ij}\}$ [2]:

$$\Gamma_k = (\gamma_{1k}; \gamma_{2k}; \dots; \gamma_{mk})^T = \int_0^T Y(t)\varphi_k(t)dt \quad (3)$$

и определяется соотношением

$$\hat{X}(t) = \sum_k A_k \Gamma_k \varphi_k(t), \quad (4)$$

где $A_k = [a_{ij}^{(k)}]_{i=1, n}^{j=1, m}$ - матрица коэффициентов, подлежащие определению из условия минимума квадратичного показателя качества

$$J = \int_0^T M[(\hat{X} - X)^T B(\hat{X} - X)]dt \rightarrow \min_{a_{ij}}, \quad (5)$$

$B = [b_{ij}]_{i, j=1}^n$ - симметрическая положительно определенная матрица.

3. Выражение (5) преобразуется к виду

$$J = \int_0^T M[X^T B X]dt - \sum_k G_k (M[2X^T H^T A_k^T B X - X^T H^T A_k^T B A_k H X - V^T A_k^T A_k V]),$$

где $G_k(R) = \int_0^T \int_0^T R(t_1; t_2)\varphi_k(t_1)\varphi_k(t_2)dt_1 dt_2$.

Реализовав условия экстремума получим систему уравнений

$$\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^m G_k(b_{ij} N_{sj} + \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^m h_{ip} h_{jq} b_{pq} R_{pq}) a_{st}^{(k)} = \sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^m G_k(h_{js} b_{st} R_{st}); \quad (6)$$

$$i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}; R = [R_{pq}]_{p, q=1}^n = M[X(t_1)X^T(t_2)].$$

Таким образом, нахождение решения требует вычисления ковариационной матрицы R .

4. В простейшем одномерном случае $m = n = b = h = 1$; $N_{11} = N$; $R_{11} = R$, условие оптимальности (6) принимает вид

$$G_k(N + R)a^{(k)} = G_k(R), \quad (6')$$

что совпадает с условием [3].

В более интересной ситуации $n = 2$, $m = 1$. Пусть кроме того $B = \text{diag}(1; 0)$ (интерес представляет лишь первая компонента полезного сигнала); $H = (1; h)$; $A_k = (a_{1k} : a_{2k})^T$.

Тогда

$$\hat{x}_1(t) = \sum_k a_{1k} \gamma_k \varphi_k(t); \quad \hat{x}_2(t) = \sum_k a_{2k} \gamma_k \varphi_k(t);$$

$$y(t) = x_1(t) + hx_2(t) + v(t); \quad \gamma_k = \int_0^T y(t) \varphi_k(t) dt;$$

$$J = \int_0^T M[(\hat{x}_1 - x_1)^2] dt = \int_0^T M[(\sum_k a_{1k} \gamma_k \varphi_k(t) - x_1(t))^2] dt \longrightarrow \min_{a_{1k}}.$$

После преобразований в этом частном случае получим

$$J = \int_0^T M[x_1^2(t)] dt - \sum_k \Phi_k,$$

где $\Phi_k = 2a_{1k} G_k(R_{11} + hR_{12}) - a_{1k}^2 G_k(R_{11} + 2hR_{12} + h^2 R_{22})$.

Решение очевидно:

$$J \longrightarrow \min \Leftrightarrow \Phi_k \longrightarrow \max, \quad \forall k \Leftrightarrow a_{1k} = \frac{\Phi_k(R_{11} + hR_{12})}{\Phi_k(R_{11} + 2hR_{12} + h^2 R_{22})}.$$

5. Вышеизложенное позволяет сделать вывод: решение задачи (5) будет получено, если связать параметры системы (6) с исходными данными (1), (2).

Уравнение, описывающее динамику матрицы $P(t) = M[X(t)X^T(t)] = R(t, t)$ имеет вид [1]:

$$\dot{P}(t) = FP + PF^T + GQG^T. \quad (7)$$

При $t_2 > t_1$ $R(t_1, t_2) = M[X(t_1)X^T(t_2)] = P(t_1)W^T(t_1, t_2)$.

Следовательно с учётом симметрии R_{ij}

$$G_k(R_{ij}) = 2 \int_0^T \varphi_k(t) dt \int_{t_1}^T [P(t_1)W^T(t_1, t_2)]_{ij} \varphi_k(t_2) dt_2 \quad (8)$$

Здесь $W(t_1, t_2)$ – решение уравнения $\dot{W} = FW$, $W(t_1) = E$.

6. В простейшей ситуации полезный сигнал представляет собой виперовский процесс [1] $n = 1$;

$$\dot{x} = -\alpha x + u; \quad y = x + v.$$

В этом случае

$$\dot{p} = -2\alpha p + Q, \quad p(0) = 0,$$

а также $W(t_1, t_2) = e^{-\alpha(t_2 - t_1)}$ и, следовательно,

$$R(t_1, t_2) = \frac{Q}{2\alpha} (e^{-\alpha(t_2 - t_1)} - e^{-\alpha(t_1 + t_2)}), \quad t_2 > t_1.$$

Двумерная модель

$$\dot{x}_1 = x_2; \quad \dot{x}_2 = 0; \quad y = x_1 + hx_2 + v$$

представляет собой задачу выделения линейного полезного сигнала по его измерению в смеси с производной.

Уравнение (7) конкретизируется в виде следующей системы:

$$\dot{p}_{11} = 2p_{12}; \quad \dot{p}_{12} = p_{22}; \quad \dot{p}_{22} = 0; \quad p_{11}(0) = A; \quad p_{12}(0) = 0; \quad p_{22}(0) = B.$$

Её решение имеет вид

$$p_{22} = B; \quad p_{12} = Bt; \quad p_{11} = Bt^2 + A.$$

Так как в этом случае

$$W(t_1, t_2) = \begin{bmatrix} 1 & t_2 - t_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

то

$$R = PW^T = \begin{bmatrix} Bt_1^2 + A & Bt_1 \\ Bt_1 & B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ t_2 - t_1 & 1 \end{bmatrix}.$$

И, следовательно, $R_{11} = Bt_1 t_2 + A$; $R_{12} = Bt_1$; $R_{22} = B$.

Нахождение оптимальных весовых коэффициентов требует конкретизации системы базисных функций $\{\varphi_k\}$.

7. Выбор ортонормированной системы $\{\varphi_k\}$ обусловлен содержанием задачи. Описанный выше алгоритм позволяет произвести необходимые расчёты и получить характеристики.

Библиографический список

1. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. М.: Мир, 1972.
2. Дубовиков А.В. Выделение полезного сигнала из аддитивной смеси с помехой разложением измерения в ряд Фурье. // Математические методы оптимального управления и обработки данных: Межвуз. сб. – Рязань: РРТИ, 1983.
3. Дубовиков А.В. Модифицированный метод ортогональных разложений оценивания случайного процесса. // Математические методы в прикладных исследованиях: Меж вуз. сб. - Рязань: РГРТУ, 2012.
4. Дубовиков А.В., Дубовиков Д.А., Ципоркова К.А. Метод ортогональных разложений при совместной обработке сигналов разнородных измерителей случайного сигнала. // Математические методы в экономических исследованиях. Сб. научн. трудов. – Рязань: РГРТА, 2006.

УДК 536.241; ГРНТ И 29.19.09

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ РАССЕИВАЕМОЙ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ АНОДОМ «ТЕПЛОВАЯ ТРУБА»

Е.А. Козлов, А.А. Трубицын

Рязанский государственный радиотехнический университет

Россия, Рязань, ewg.kozlov2015@yandex.ru

Аннотация. В данной работе произведена оценка использования тепловой трубы в качестве анода рентгеновской трубки. Приведен расчет величины мощности рассеиваемой анодом «тепловая труба».

Ключевые слова. Тепловая труба, температура анода, максимальная рассеиваемая мощность, рентгеновская трубка

EVALUATION OF THE MAGNITUDE OF DISSIPATED HEAT CAPACITY ANODE «HEAT PIPE»

E.A. Kozlov, A.A. Trubitsyn

Ryazan State Radioengineering University

Russia, Ryazan, ewg.kozlov2015@yandex.ru

Abstract. In this paper, an estimate is made of the use of a heat pipe as the anode of an X-ray tube. The calculation of the power dissipated by the anode "heat pipe" is given.

Keywords. Heat pipe, anode temperature, maximum dissipated power, X-ray tube

Одно из направлений развития микрофокусной рентгеновской техники связано с увеличением мощности рентгеновских трубок с анодом прострельного типа. Основной недостаток классических источников прострельного типа состоит в том, что верхний предел мощности, рассеиваемой на плоском аноде, невелик и не превышает 1 Вт на 1 мкм² площади поперечного сечения электронного пучка [1]. Дальнейшее увеличение плотности мощности приводит к разрушению материала мишени анода.

Для решения данной проблемы предлагается техническое решение качественного повышения мощности микрофокусных трубок за счет применения в качестве анода так называемой «тепловой трубы» [2]. Heat pipes (HP) [3] способны рассеивать рекордные количества тепла из малых областей локального нагрева.

Для определения эффективности использования тепловой трубы, в качестве анода рентгеновской трубки, необходимо оценить величину рассеиваемой мощности при тех или иных конструктивных требованиях, предъявляемых к мишени. В работе [4] решена задача нагревания составного анода электронным лучом, диаметр фокального пятна которого составляет 2δ . Анод представляет собой массивную цилиндрическую подложку диаметром $2R$ и высотой h_2 из металла с хорошей теплопроводностью k_2 (например, Cu или Be), с нанесенным на его основание слоя тугоплавкого металла (например, W) толщиной h_1 и теплопроводностью k_1 , являющегося мишенью (рис. 1).

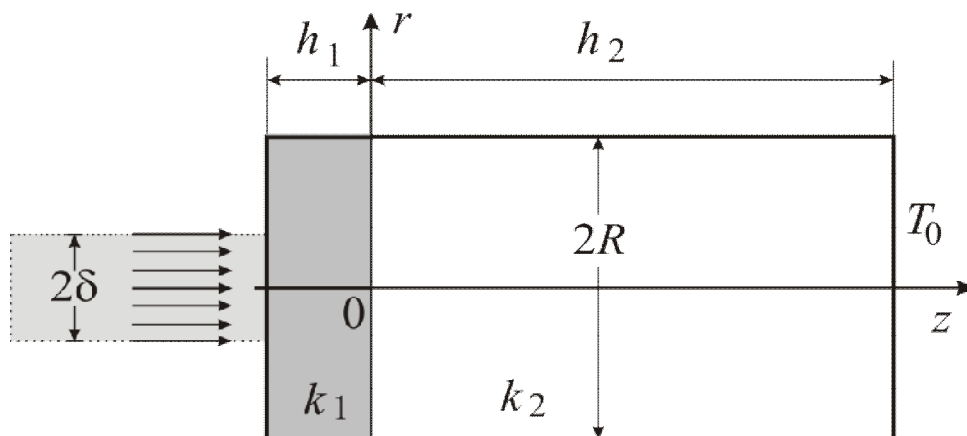


Рис. 1. Схематическое изображение конструкции составного анода

Основной теплообмен с внешней средой осуществляется через основание анода, противоположное мишени, температура которого принимается равной T_0 . Для установившегося режима математическая формулировка аксиально-симметричной задачи включает в себя два стационарных уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах относительно температуры мишени T_1 и температуры подложки T_2 :

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} = 0,$$

$$\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} = 0,$$

и граничные условия:

$$\left. \frac{\partial T_1}{\partial r} \right|_{r=R} = \left. \frac{\partial T_2}{\partial r} \right|_{r=R} = 0,$$

$$-k_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial z} \right|_{z=-h_1} = \frac{Q}{\pi \delta^2},$$

$$T_1|_{z=0} = T_2|_{z=0},$$

$$k_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial z} \right|_{z=0} = k_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial z} \right|_{z=0},$$

$$T_2|_{z=h_2} = T_0,$$

$$-k_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial z} \right|_{z=h_2} = \frac{Q}{\pi R^2},$$

где $\frac{Q}{\pi \delta^2}$ – плотность теплового потока Q в фокусе трубки в случае равномерного распределения плотности электронного луча по сечению;

$\frac{Q}{\pi R^2}$ – плотность теплового потока, рассеиваемого в окружающее пространство с торца $z = h_2$.

Решение краевой задачи в центре поверхности фокального пятна ($z=-h_1$, $r=0$) на поверхности мишени, там, где температура максимальна, имеет вид [4]:

$$T_{\max} = T_0 + \frac{P}{\pi R^2} \left(\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} \right) + \frac{P}{\delta k_1} \sum_{n=1} L_n \frac{J_1 \left(\mu_n \frac{\delta}{R} \right)}{\mu_n}, \quad (1)$$

где

$$L_n = \frac{\frac{k_1}{k_2} th \left(\mu_n \frac{h_2}{R} \right) + th \left(\mu_n \frac{h_1}{R} \right)}{\frac{k_1}{k_2} th \left(\mu_n \frac{h_1}{R} \right) th \left(\mu_n \frac{h_2}{R} \right) + 1};$$

$J_1(x)$ – функция Бесселя первого рода первого порядка;

μ_n – корни функции $J_1(x)=0$, $n=1, 2, 3 \dots$ - порядковый номер корня;

P – мощность электронного потока на поверхности анода.

Расчеты для составного анода показывают, что перегрев мишени зависит от ее толщины. Под перегревом понимается превышение $T_{\max}$ допустимой температуры T_{adm} . Так, для вольфрама $T_{\text{adm}}=1600$ °С [4]. При толстом слое мишени его поверхность может нагреться до предельных значений, в то время как теплопроводящая подложка будет иметь низкую температуру. При уменьшении толщины мишени все сильнее будет нагреваться подложка и предельная мощность электронного луча будет определяться допустимой температурой T_{adm} ее нагрева. Для меди $T_{\text{adm}}=750$ °С [4]. Очевидно, существует оптимальная толщина мишени, при которой будут использованы полезные особенности мишени (высокая температура плавления) и подложки (высокая теплопроводность).

Оценка мощности, рассеиваемой анодом, выполненным в виде тепловой трубы, в настоящей работе проводится в приближении эквивалентной теплопроводности. Понятие «эквивалентная теплопроводность» часто используется для определения эффективности тепловых труб [3]. Для примера, классические цилиндрические трубы с водой при температуре 150°С в качестве теплоносителя имеют теплопроводность, в сотни раз большую чем, медь. Соответствующим выбором теплоносителя и материала корпуса могут быть созданы тепловые трубы для работы в интервале температур от 4 до 2300 К.

Приближение эквивалентной теплопроводности, не являясь совсем точным, позволит ответить на вопрос о принципиальной возможности использования тепловой трубы в качестве анода микрофокусной трубки и даст порядок величины рассеиваемой мощности.

Положив в соответствии с вышесказанным $k_2 \gg k_1$ в формуле (1) получим следующее выражение для оценки максимальной температуры анода, состоящего из мишени с теплопроводностью k_1 и подложки, имеющей значительную теплопроводность k_2 , что является вполне адекватной моделью анода «тепловая труба»:

$$T_{\max} = T_0 + \frac{P}{k_1} \left[\frac{h_1}{\pi R^2} + \frac{1}{\delta} \sum_{n=1}^{\infty} M_n \frac{J_1\left(\mu_n \frac{\delta}{R}\right)}{\mu_n} \right], \quad (2)$$

где $M_n = th\left(\mu_n \frac{h_1}{R}\right)$.

Корректность полученного выражения (2) подтверждается практическим совпадением результатов вычислений, проводимых в соответствии с уравнениями (1) и (2), для толстых мишеней ($h_1 > 1$ мм), когда влияние подложки незначительно.

Подчеркнем еще раз, что $T_{\max}$ не может превышать T_{adm} материала мишени, т.е. должно выполняться условие $T_{\max} \leq T_{\text{adm}}$. Обозначив $\Delta T = T_{\text{adm}} - T_0$ получим формулу оценки максимально допустимой мощности, поглощаемой мишенью анода «тепловая труба»:

$$P_{\max} = \frac{k_1 \Delta T}{\frac{h_1}{\pi R^2} + \frac{1}{\delta} \sum_{n=1}^{\infty} M_n \frac{J_1\left(\mu_n \frac{\delta}{R}\right)}{\mu_n}}. \quad (3)$$

Мощность в формуле (3) имеет размерность Вт, а расстояния и радиусы измеряются в см..

По результатам расчетов на рис. 2 построены зависимости предельной рассеиваемой мощности от толщины мишени анода «тепловая труба» при двух значениях диаметра фокального пятна. Пунктирными линиями (а) и (с) обозначены уровни максимальной мощности, которую способен рассеивать стандартный составной W-Be анод прострельного типа по оценкам [5].

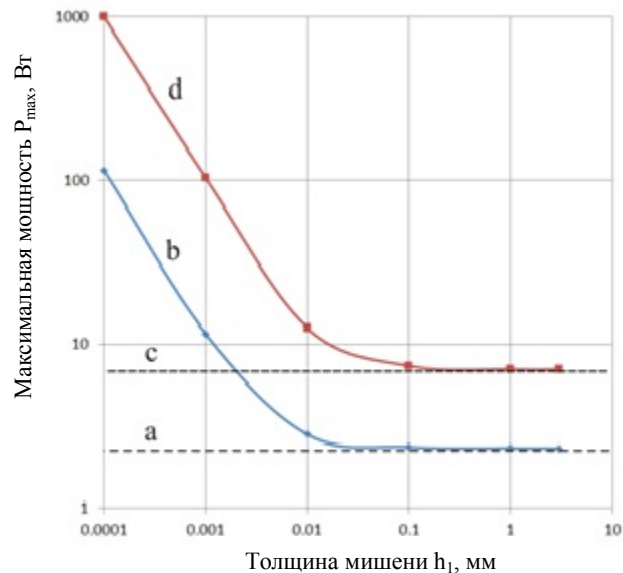


Рис. 2. Предельная мощность, рассеиваемая W мишенью анода «тепловая труба»: b – $2\delta=10$ мкм, d – $2\delta=30$ мкм.

Уровни предельной мощности, рассеиваемой стандартным составным W-Be анодом прострельного типа: a – $2\delta=10$ мкм, c – $2\delta=30$ мкм.

Проведем анализ данных рисунка 2. При больших толщинах (> 1 мм) W мишени анода «тепловая труба» величина рассеиваемой мощности определяется тепловым сопротивлением вольфрама, и тепловая труба не обеспечивает отвод тепла от зоны нагрева. Поэтому предельная тепловая мощность в этом случае лишь незначительно превышает мощность, рассеиваемую стандартным составным анодом W-Be, описанным в [5]. Ощутимый выигрыш в рассеиваемой мощности достигается при очень малой (< 100 мкм) толщине мишени анода «тепловая труба».

Таким образом, в случае использования тепловой трубы в качестве анода не существует какой-либо оптимальной толщины мишени, и чем тоньше мишень, тем большая мощность может быть рассеяна из области нагрева. Это основное преимущество применения тепловой трубы в качестве анода микрофокусной рентгеновской трубки.

Библиографический список

1. Иванов С.А., Щукин Г.А. Рентгеновские трубки технического назначения. Ленинград: Энергоатомиздат, 1989
2. Trubitsyn A.A. Microfocus transmission X-ray tube with high level of scattered power (rus.) // Russian Federation Patent Application № 2017118897. Receipt date 30.05.2017, www.fips.ru.
3. P. D. Dunn, D.A. Reay. Heat pipes. Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Braunschweig: Pergamon Press, 1976
4. Ф.Н. Хараджа. Общий курс рентгентехники. Ленинград: Издательство «Энергия», 1966
5. Подымский А.А. Мощные рентгеновские трубки для проекционной рентгенографии // кандидатская диссертация. Санкт-Петербург: ЛЭТИ, 2016.

УДК 304.5; ГРНТИ 04.21.51

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ ОПИСАНИЯ МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО МНЕНИЯ

Н.В. Седова*Тамбовский государственный технический университет,**Россия, Тамбов, nvsed@rambler.ru*

Аннотация. В работе предложена модель изменения и распространения общественного мнения на основе использования теории клеточных автоматов.

Ключевые слова. Теория клеточных автоматов, общественное мнение, лидер, иностранцы, адаптация.

USING THE THEORY OF CELLULAR AUTOMATES FOR DESCRIPTION OF THE MODEL OF CHANGING PUBLIC OPINION

N.V. Sedova*Tambov State Technical University,**Russia, Tambov, nvsed@rambler.ru*

Abstract. The paper proposes a model for changing and spreading public opinion on the basis of the use of the theory of cellular automata.

Keywords. The theory of cellular automata, public opinion, leader, foreigners, adaptation.

Введение

Социальные и биологические процессы имеют много общего, поэтому биологические модели находят применение в социологии, а социологические методы в медицине. Биология, социология, медицина и другие науки, ранее считавшиеся гуманитарными, все чаще используют математические методы для описания узко специфических процессов, построения перспективных моделей и др. Клеточная модель, которую предлагается использовать в исследовании для моделирования социальных переходных процессов адаптации иностранцев, используется в биологии и медицине, например, для модификации теории свертывания крови, для объяснения течения ряда заболеваний, например, рака и хореи Гентингтона [1].

Одним из направлений исследований в данной области является клеточное моделирование социальных процессов с использованием для принятия решений моделей теории игр. Теория игр рассматривает ситуации, в которых в принятии решений участвует несколько сторон, каждая из которых имеет собственные предпочтительные решения, иногда полностью или частично противоречащие друг другу. Интеграционные процессы в обществе так же предполагают принятие решения о возможности ассимиляции иностранцев в социокультурную среду региона, несмотря на явные религиозные, культурные, политические и социальные отличия.

Описание социологической задачи

Общественное мнение формируется под влиянием многих факторов и не последнюю роль в процессе формирования играют механизмы межличностной коммуникации. Стихийные способы формирования общественного мнения предполагают использование мнения лидера. Лидер играет роль катализатора, который ускоряет процесс принятия решения, склоняет колеблющееся население на свою сторону, пропагандируя собственное авторитетное мнение. Проблема интеграции иностранных граждан с местным населением является актуальной не только для российского общества, но и для большинства стран Европы и Америки. При этом нет единого подхода к оценке рисков возникновения межэтнических противоречий.

Иностранцы, приехавшие в Россию, предпочитают общение внутри своих групп, сводя к минимуму контакты с местным населением, которое, в свою очередь очень настороженно относится к не русскоговорящим. Различия в традициях, религии, укладе жизни только усугубляют эту настороженность и приводят к непониманию и непринятию иностранного

индивида и его группы. Основные усилия государственных органов направлены на адаптацию иностранцев к жизни в России, а реакция местного населения отходит на второй план, т.к. считается, что Россия – многонациональное государство в котором нет расовых и религиозных предрассудков. Однако многочисленные исследования, проводимые в данной области показывают, что проблема межэтнической коммуникации существует и необходимы механизмы, способные корректировать общественное мнение и распространять идею этнической терпимости.

В соответствии с моделью электорального процесса Т. Брауна в социологии и модели референтной группы в политологии, избиратели на выборах голосуют исходя из доминирующей тенденции в своем окружении. Предполагается, что индивид принимает решение голосовать за какую-либо партию в соответствии с правилом простого большинства. Таким образом, если поместить лидера группы в условия, которые подтолкнут его к принятию «нужного» решения, то далее он как лидер будет способен изменить общественное мнение группы, для которой его мнение является авторитетным. Мы предполагаем, что если лидера общественной группы, имеющего влияние на других ее членов, поместить в ситуацию, которая подтолкнет его к решению о необходимости интеграции иностранных граждан в социокультурную среду региона, то это поможет облегчить процесс межкультурной коммуникации и перейти от стадии терпимости к стадии аккомодации.

Описание модели распространения мнения лидера на общественное мнение

Общество можно рассматривать как распределенную динамическую систему, для которой расположение элементов этой системы играет существенную роль в конечном распределении функционала. При этом вход из строя любого элемента не приводит к сбою работы всей системы, а только к перераспределению начальных условий функционирования.

Полное математическое описание индивида невозможно в связи с наличием большого числа рациональных и иррациональных факторов, определяющих его поведение, но моделирование поведения большой группы людей проводится довольно успешно [2-4]. Использование теории вероятностей, дифференциальных уравнений и теории клеточных автоматов дает возможность предсказывать поведение толпы на основе закона больших чисел: при неограниченном увеличении числа испытаний средние величины стремятся к некоторым постоянным [5]. Это означает, что для предсказания поведения большой группы людей можно не учитывать возможное отклонение поведения нескольких индивидов от общей закономерности. Индивидуальные особенности отдельного человека почти не сказываются на среднем результате большого количества людей, а характеристики случайных событий и величин, наблюдаемых в экспериментах, становятся неслучайными при неограниченном увеличении числа проводимых экспериментов.

Представим общество в виде плоскости, разбитой на клетки. Каждая клетка представляет собой индивида и может принимать конечный набор значений (возможных вариантов развития событий, принятых решений и др.). Время дискретно и состояние индивида в каждый момент времени определяется некоторым набором правил и состоянием его ближайших соседей. Т.е. клетка в моменты времени $t=1,2,3...$ может принимать конечное число сигналов среды и в зависимости от них изменять свое состояние. Если мы рассматриваем процесс изменения общественного мнения, то число конечных состояний S определяется набором из трех значений: мнение индивида изменилось на противоположное, мнение индивида не изменилось, индивид не имеет своего мнения. Каждая клетка (индивид) может производить конечный набор действий, например, агитировать ближайших соседей или оставаться нейтральной (принимать значения 0 или 1). Это выполняет условие необходимости реализации системы обратной связи. Положительная обратная связь усиливает результат функционирования системы и может приводить к развитию неустойчивого состояния. Большинство живых систем требует наличия отрицательной обратной связи, например, при выполнении фи-

зических упражнений количество кислорода в крови человека уменьшается, это увеличивает частоту дыхания и приток кислорода к легким, что в свою очередь приводит к насыщению крови кислородом.

Можно предположить, что мнение, которое индивид изменил под воздействием общества, ослабляет систему, т.к. первичная система ценностей складывалась на протяжении длительного времени и является более стабильной, чем приобретенная под кратковременным воздействием мнения ближайших соседей и с течением времени под воздействием окружающей среды возможен обратный переход системы в начальное состояние.

В приложениях модели клеточных автоматов среда обитания может быть однородной (т.е. для всех клеток действует единое правило, не зависящее от случайных факторов) и неоднородной или вероятностной, для которой переход клетки из одного состояния в другое задается некоторой вероятностью $a_{ij}(S)$, где i – начальное состояние системы, j – конечное состояние системы, S – число возможно принимаемых сигналов среды. Вероятность перехода определяется уравнением [6, 7]:

$$W = W\left(a(j, t+1) \middle| a(j, t), \sum_{i \in \Theta(j)} a(i, t)\right)$$

Определив данную вероятность, мы получим возможность выяснить, изменится ли общественное мнение в зависимости от мнения лидера, окружения и других начальных условий.

Состояние клетки после перехода определяется по состоянию окрестности (соседей) клетки до перехода при помощи некоторого преобразования Φ , не зависящего от положения клетки на плоскости. В [8] описаны некоторые математические модели роста социальной напряженности в однородном и смешанном обществе.

Важную роль при реализации модели играет окружение [9-10]. Клеточная теория автоматов предполагает возможность использования нескольких видов окрестностей, т.е. клеток, которые являются соседними с данной:

- окрестность фон Неймана, предполагает наличие у каждой клетки четырех соседей;
- окрестность Мура расширяет их количество до восьми;
- окрестность Марголуса разбивает плоскость на блоки 2×2 , каждый из которых обновляется отдельно от остальных. Обновление происходит после каждого прохода: блоки сдвигаются на одну ячейку по горизонтали и вертикали. Поэтому каждая ячейка блока на следующем шаге может оказаться в другом блоке (рисунок 1).

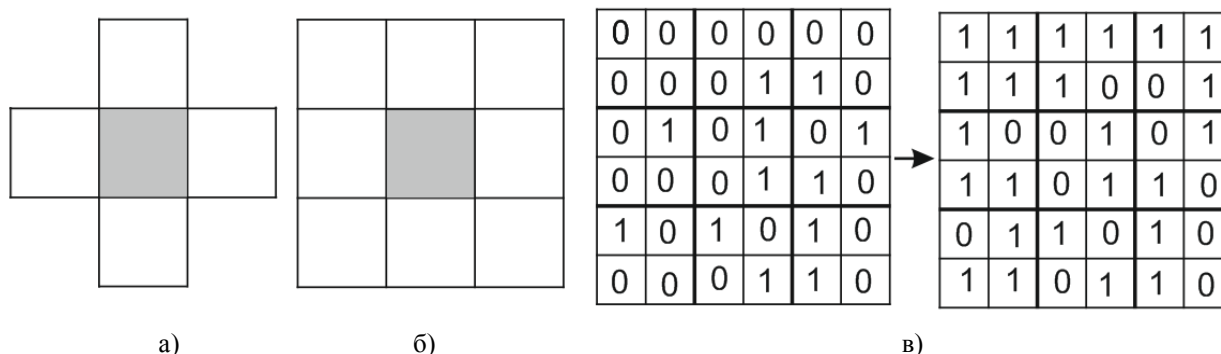


Рис. 1. Виды окрестностей: а) окрестность фон Неймана; б) окрестность Мура; в) окрестность Марголуса

Чем большее количество соседей принимается во внимание, тем точнее определяется вероятность перехода клетки из одного состояния в другое и, следовательно, вероятность распространения общественного мнения в зависимости от мнения лидера.

Выводы

Межличностное доверие является одним из возможных путей решения проблемы существования межэтнических противоречий и конфликтов. Доверие возникает как фактор поддержки мнения лидера вне зависимости от собственных предпочтений. Предложенная модель дает возможность оценить возможность определения уровня корреляции поведения индивида в контексте окружения, экстраполирования уровня толерантности местного населения к иностранным гражданам.

Библиографический список

1. Hoffman M, Monroe D. A cell-based model of hemostasis. *Thromb Haemost.* 2001; 85: 958-965
2. Малинецкий Г.Г., Степанцов М.Е. Применение клеточных автоматов для моделирования движения группы людей // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2004. Т. 44. №11. С. 2108-2112
3. Кирик Е. С., Юргельян Т. Б., Круглов Д. В. О дискретной модели движения людей с элементом анализа окружающей обстановки // Журнал СФУ, Серия «Математика и физика». 2008. Т. 1, № 3. С. 266–276.
4. Аптуков А. М., Брацун Д.А. Моделирование групповой динамики толпы, паникующей в ограниченном пространстве // Вестник Пермского университета. Механика. 2009. Вып. 3. С. 18–23.
5. Афанасьев В.В. Теория вероятностей в вопросах и задачах [Электронный ресурс], URL: <http://citoweb.yspu.org/link1/metod/theory/node21.html>
6. Лобанов А.И. Модели клеточных автоматов // Компьютерные исследования и моделирование. 2010. т. 2 № 3 с. 273–293
7. Ванаг В.К. Исследование пространственно распределенных динамических систем методами вероятностного клеточного автомата // Успехи физических наук. 1999 г. Т. 169. №5 с. 481-505
8. Корнев И.М. Об одной модели этнических отношений // "Интеллектуальные системы" Том 3, выпуск 1-2, 1998 г. С. 217-232
9. Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов. Москва. Логос. 2001. 296 с.
10. Тоффоли Т. Марголус Н. Машины клеточных автоматов. М. Мир. 1991. 280 с.

УДК 623-91/-94; ГРНТИ 78.21.53

ФИЛЬТР КАЛМАНА В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

М.Б. Королев, О.А. Бодров

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, korolev594041@gmail.com*

Аннотация. Рассматривается фильтр Калмана в радиолокационных информационно-измерительных системах.

Ключевые слова. Фильтр Калмана, информационно-измерительная система.

KALMAN FILTER IN RADAR INFORMATION-MEASURING SYSTEMS

M.B. Korolev, O.A. Bodrov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, korolev594041@gmail.com*

Annotation. The Kalman filter in radar information-measuring systems.

Keywords. Kalman filter, information-measuring system.

К настоящему времени в развитых зарубежных государствах создан мощный арсенал средств воздушного нападения, к которым относятся самолёты и вертолёты различного назначения, беспилотные летательные аппараты и другие средства [1,2]. В этих условиях осо-

бую важность приобретает задача обеспечения гарантированной защиты объектов военной и гражданской инфраструктуры.

Для решения этой задачи на объектах организуется система противовоздушной обороны, основными элементами которой являются зенитные ракетные комплексы, включающие в свой состав средства поражения целей – перехватчики и средства информационного обеспечения их применения [1,2].

Анализ материалов работ [1-3] показывает, что основным типом систем самонаведения современных и перспективных перехватчиков являются бортовые информационно-измерительные системы в виде активных радиолокационных головок самонаведения (АРГСН), обеспечивающих получение необходимой координатной информации о целях путём их облучения (зондирования) и приёма отражённых от них сигналов с применением соответствующих устройств, размещаемых на борту перехватчика.

Важную роль играет задача определения угловой скорости линии визирования АРГСН–цель. Для повышения точности определения данного параметра предлагается использовать Калмановскую фильтрацию.

Рассмотрим задачу определения оптимальных оценок с помощью фильтра Калмана. Наибольшее практическое значение имеет представление фильтра Калмана в дискретном времени, поскольку все вычислительные процедуры выполняются в бортовых цифровых вычислительных машинах перехватчиков дискретно.

В дискретном представлении динамическая линейная система, находящаяся под воздействием шумов, описывается следующими уравнениями в матричной форме:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_{k+1} &= \mathbf{A}_k \mathbf{y}_k + \mathbf{u}_k + \boldsymbol{\eta}_k; \\ \mathbf{z}_{k+1} &= \mathbf{H}_{k+1} \mathbf{y}_{k+1} + \boldsymbol{\xi}_{k+1}; \\ E[\boldsymbol{\eta}_k, \boldsymbol{\eta}_l^T] &= \mathbf{Q}_k \delta_{kl}; \quad E[\boldsymbol{\xi}_k, \boldsymbol{\xi}_l^T] = \mathbf{R}_k \delta_{kl} \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $\boldsymbol{\eta}_k$, $\boldsymbol{\xi}_k$ – гауссовы некоррелированные дискретные процессы; δ_{kl} – символ Кронекера.

Вычислительная процедура для фильтра Калмана в дискретном времени дается следующими рекуррентными соотношениями:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_{k+1}^* &= \mathbf{A}_k \hat{\mathbf{y}}_k + \mathbf{u}_k; \\ \mathbf{P}_{k+1}^* &= \mathbf{A}_k \hat{\mathbf{P}}_k \mathbf{A}_k^T + \mathbf{Q}_k; \\ \hat{\mathbf{P}}_{k+1} &= \mathbf{P}_{k+1}^* - \mathbf{K}_{k+1} \mathbf{H}_{k+1} \mathbf{P}_{k+1}^*; \\ \mathbf{K}_{k+1} &= \mathbf{P}_{k+1}^* \mathbf{H}_{k+1}^T (\mathbf{H}_{k+1} \mathbf{P}_{k+1}^* \mathbf{H}_{k+1}^T + \mathbf{R}_{k+1})^{-1}; \\ \hat{\mathbf{y}}_{k+1} &= \mathbf{y}_{k+1}^* + \mathbf{K}_{k+1} (\mathbf{z}_{k+1} - \mathbf{H}_{k+1} \mathbf{y}_{k+1}^*) \end{aligned} \quad (2)$$

где $\hat{\mathbf{y}}$ – вектор оценок;

$\mathbf{y}^*$ – вектор экстраполированных оценок;

$\hat{\mathbf{P}}$ – ковариационная матрица оценок;

$\mathbf{P}^*$ – экстраполированная ковариационная матрица;

K – матрица коэффициентов усиления;

H – переходная матрица измерительного процесса.

Основной эффект применения фильтра Калмана сводится к следующему. Измеренная АРГСН угловая скорость линии визирования сильно зашумлена флюктуациями, поэтому в первичном виде ее невозможно использовать для управления перехватчиком. На рисунке 1 представлены: 1 – кинематическая (истинная) угловая скорость линии визирования; 2 – угловая скорость линии визирования на выходе фильтра Калмана; 3 – угловая скорость линии визирования на выходе апериодического фильтра; 4 – угловая скорость измеренная АРГСН.

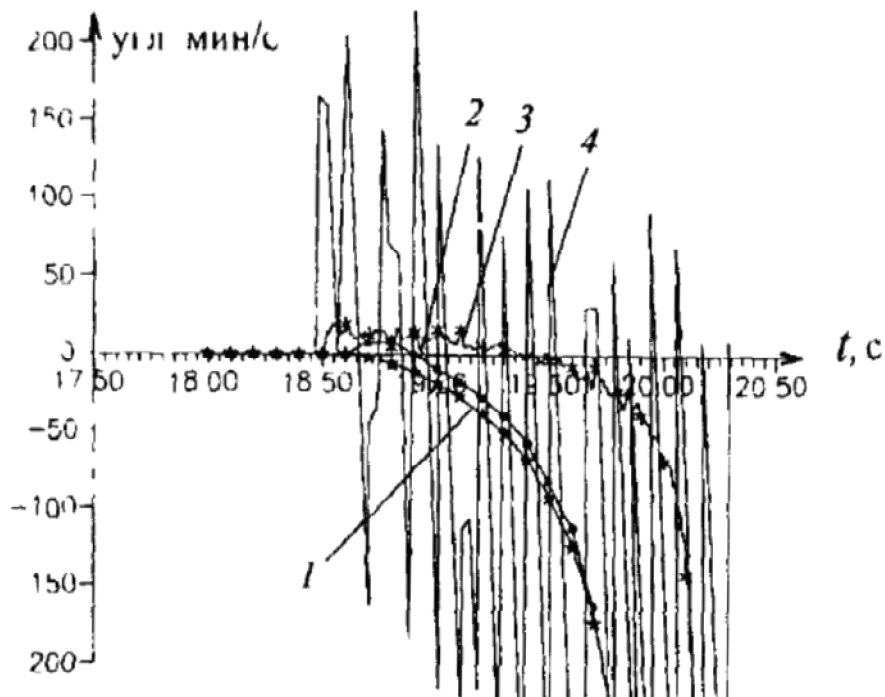


Рис. 1. Преимущества фильтра Калмана

При использовании обычного фильтра в виде апериодического или колебательного звена для подавления флюктуационных колебаний измеренного сигнала оценка угловой скорости на выходе подобного фильтра тем сильнее запаздывает относительно кинематической угловой скорости, чем сильнее подавление флюктуационного сигнала. Для иллюстрации на рисунке 1 представлена оценка угловой скорости линии визирования на выходе апериодического фильтра – кривая 3. Использование столь запаздывающего сигнала для управления перехватчика приводит к появлению недопустимо большого промаха.

Фильтр Калмана использует модель взаимного движения перехватчика и цели, и чем ближе модель к кинематике истинного относительного движения, тем точнее оценка на выходе фильтра Калмана воспроизводит кинематическую угловую скорость линии визирования. При точном совпадении используемой модели и истинного движения оценка воспроизводит кинематическую угловую скорость линии визирования без искажений, что и обеспечивает высокую точность самонаведения перехватчика на цель (кривая 2).

Библиографический список

1. Справочник офицера воздушно-космической обороны / Под общей редакцией С.К. Бурмистрова. – Тверь: ВА ВКО, 2006.
2. Проектирование зенитных управляемых ракет / И.И. Архангельский, П.П. Афанасьев, Е.Г. Болотов и др. / Под ред. И.С. Голубева и В.Г. Светлова – М.: Изд-во МАИ, 2001.
3. Акопян И.Г., Вексин С.И., Медведев Г.П., Сухов А.М. Особенности построения и развития техники радиолокационных головок самонаведения в системах ракетного вооружения ВВС и ЗРК. – Радиотехника, № 2, 2005.
4. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. –М.: Радиотехника, 2007.
5. Бартон Д., Вард Г. Справочник по радиолокационным измерениям. Пер. с англ. под ред. М.М. Вейсбейна. – М.: Сов. радио, 1976.
6. Сколник М. Справочник по радиолокации. Том 4 – М. Сов. радио, 1978.

СЕКЦИЯ «ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

УДК 004.932.4; ГРНТИ 28.23.15

АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.В. Федин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, г. Рязань, ant.fedin2012@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается задача выделения движущихся объектов в последовательности изображений. Предлагается алгоритм выделения движущихся объектов при евклидовых преобразованиях изображения. При разработке алгоритма использовалась модель формирования наблюдаемого изображения с учётом предположений о виде геометрических искажений, вызванных движением датчика изображения.

Ключевые слова. Выделение объектов, геометрические преобразования, смещения изображения, евклидовы преобразования, модель формирования изображения.

AN ALGORITHM FOR EXTRACTING MOVING OBJECTS IN A SEQUENCE OF IMAGES

A.V. Fedin

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, ant.fedin2012@yandex.ru*

Abstract. In this paper we consider the task allocation of moving objects in image sequences. It is proposed an algorithm to detect moving objects under Euclidean transformations of the image. The developed algorithm was used to model the formation of observed images given the assumptions about the form of geometric distortions caused by movement of the image sensor.

Keywords. The allocation of objects, geometric transformations, displacement of images, the Euclidean transform, model of image formation.

Введение

Выделение движущихся объектов является одной из важнейших задач при анализе последовательности изображений [1].

Задача выделения объектов состоит в принятии решения о наличии объекта для каждой точки изображения. Исходными данными для алгоритма выделения объектов являются изображения наблюдаемой сцены, результатами – бинарные изображения, где единичные значения – точки объекта, а элементы с нулевой яркостью – точки фона.

Основные этапы алгоритма обнаружения и выделения объектов

Выделим основные этапы алгоритма обнаружения и выделения объектов:

Этап 1. Вычисление признаков изображений. Признаковое описание позволяет повысить качество выделения и обнаружения объектов.

Этап 2. Первичная обработка. На втором этапе происходит переход от признакового изображения к полутоновому. Величина яркости полутонового изображения в точке обычно отражает степень принадлежности данной точки изображения к обнаруживаемому объекту.

Этап 3. Пороговая обработка. На третьем этапе осуществляется преобразование изображения наблюдаемой сцены к бинарному изображению, в результате сравнения его значения в каждой точке с пороговым уровнем. Результат пороговой обработки можно рассматривать как результат выделения объектов.

Постановка задачи оценки параметров геометрических преобразований

Важной проблемой при реализации метода выделения объектов является оценивание параметров геометрических преобразований, вызванных движением датчика [2]. Ограничимся двумя типами геометрических преобразований – смещением и поворотом [3].

Смещения изображения описываются выражением:

$$S(x, y) = (x - \alpha, y - \beta), \quad (1)$$

где (α, β) – параметры смещения по горизонтали и вертикали.

Повороту наблюдаемого изображения на угол φ соответствует преобразование:

$$S(x, y) = (x \cos \varphi + y \sin \varphi, -x \sin \varphi + y \cos \varphi). \quad (2)$$

Совокупность преобразований смещений и поворотов изображения носит название – евклидовы преобразования изображения. Задаётся выражением:

$$S(x, y) = (x \cos \varphi + y \sin \varphi - \alpha, -x \sin \varphi + y \cos \varphi - \beta), \quad (3)$$

где φ – угол поворота;

(α, β) – величина смещения.

Модель формирования наблюдаемого изображения с учётом сделанных предположений о виде геометрических искажений имеет вид [3]:

$$\begin{aligned} l(x, y) &= f(x, y)(1 - r(x, y)) + h(x, y)r(x, y) + \xi(x, y), (x, y) \in X, \\ f(x, y) &= g_m(x - z_x(x, y), y - z_y(x, y)), \\ g_m(x, y) &= g(x \cos \varphi + y \sin \varphi - \alpha, -x \sin \varphi + y \cos \varphi - \beta), \end{aligned} \quad (4)$$

где $g(x, y)$ – изображение фона;

$g_m(x, y)$ – изображение фона в системе координат наблюдаемого изображения;

$f(x, y)$ – изображение фона, деформированное геометрическими преобразованиями;

$r(x, y)$ – маска изображений объектов;

$h(x, y)$ – изображение объектов наблюдаемой сцены;

$l(x, y)$ – наблюдаемое изображение;

$X = \{(x, y): -N_x/2 \leq x \leq N_x/2; -N_y/2 \leq y \leq N_y/2\}$ – непрерывное множество точек наблюдаемого изображения;

(α, β, φ) – неизвестный вектор параметров, описывающих евклидово преобразование наблюдаемого изображения $l(x, y)$ относительно известного изображения фона $g(x, y)$;

$z_x(x, y) \sim N(0, \sigma_z^2), z_y(x, y) \sim N(0, \sigma_z^2)$ – некоррелированные гауссовы случайные величины с известной дисперсией.

Сформулируем задачу оценки параметров геометрических преобразований: необходимо найти оценку величин (α, β, φ) при известных изображениях $l(x, y)$ и $g(x, y)$.

Оценивание параметров преобразования смещения

Наиболее эффективными для решения задачи оценки параметров смещения являются корреляционно-экстремальные методы, основанные на поиске точки минимума функции отличия изображений, вычисленной при различных значениях сдвига (α, β) .

Координаты эталона w_m находятся следующим образом [1]:

$$(\hat{i}_m, \hat{j}_m) = \arg \min_{(i,j) \in W_m} (F_{\text{крит}}(i, j)), \quad (5)$$

$$F_{\text{крит}}(i, j) = \sum_{\alpha=1}^{a_m} \sum_{\beta=1}^{b_m} \left| l_1 \left(i + \alpha - \frac{a_m}{2}, j + \beta - \frac{b_m}{2} \right) - w_m(\alpha, \beta) \right|, \quad (6)$$

где $l_1(i, j)$ – наблюдаемое изображение;

$W_m(n)$ – зона поиска эталона w_m , a_m, b_m – линейные размеры m -го эталона.

Алгоритм оценивания параметров основан на одновременном корреляционном оценивании смещения нескольких участков изображения [1].

Основные этапы работы алгоритма:

Этап 1. Выбор $M_{\text{эт}}$ участков исходного изображения (эталонов), из которых первые $M_{\text{эт}} - 1$ будут являться основными, а последний – дополнительным.

Этап 2. Определение параметров смещения всех опорных участков.

Этап 3. Определение сдвига фона по оценкам смещения основных эталонов.

Этап 4. Отсеивание и замена основных опорных участков с использованием дополнительного эталона.

Алгоритм выделения объектов при евклидовых преобразованиях изображения

Данная задача сформулирована как задача выделения объекта в некоторой фиксированной точке (x_0, y_0) в фиксированный момент времени.

Предположим, что известно изображение фона в окрестности точки (x_0, y_0) . Обозначим изображение фона $g(x, y)$, $g_m(x, y)$ – изображение фона в системе координат, связанное с наблюдаемым изображением, (α, β, φ) – неизвестный вектор параметров евклидова преобразования наблюдаемого изображения относительно изображения фона.

Зафиксируем точку наблюдаемого изображения (x_0, y_0) . Значения функций $l(x_0, y_0), r(x_0, y_0), h(x_0, y_0), \xi(x_0, y_0), z_x(x_0, y_0), z_y(x_0, y_0)$ обозначим символом самой функции l, h, ξ, z_x, z_y . Тогда модель формирования изображения (4) можно переписать так:

$$l = f(1 - r) + hr + \xi, \quad (7)$$

$$f = g_m(x_0 - z_x, y_0 - z_y), \quad (8)$$

$$g_m(x, y) = g(x \cos \varphi + y \sin \varphi - \alpha, -x \sin \varphi + y \cos \varphi - \beta). \quad (9)$$

Предполагается, что яркость объекта h в точке (x_0, y_0) неизвестна, является случайной величиной, распределенной по равномерному закону с граничными значениями $c_{\min}, c_{\max}$: $h \sim R(c_{\min}, c_{\max})$, где $c_{\min}, c_{\max}$ – минимально и максимально возможные яркости точек изображения.

Пусть z_x, z_y – гауссовы случайные величины, некоррелированные в пространстве: $z_x \sim N(0, \sigma_z^2), z_y \sim N(0, \sigma_z^2)$, ξ – нормальный белый шум: $\xi \sim N(0, \sigma_\xi^2)$.

Предполагается выполнение условия: $\sigma_\xi(x, y) \ll c_{\max} - c_{\min}$. Необходимо в точке (x_0, y_0) принять решение о наличии объекта, то есть найти $\hat{r}$, которая является оценкой для r .

Критерий качества выделения объектов задаётся в форме критерия Неймана-Пирсона:

$$P(\hat{r} = 1/r = 0) \leq p_-, \quad (10)$$

$$P(\hat{r} = 1/r = 1) = p_+ \rightarrow \max, \quad (11)$$

где $P(\hat{r} = 1/r = 0)$ – вероятность ложного выделения объекта;

p_- – заданное значение вероятности ложного выделения;

$P(\hat{r} = 1/r = 1)$ и p_+ – вероятность правильного выделения, которая должна быть максимизирована путём оптимального выбора параметров алгоритма выделения объектов.

В соответствии с результатами теории статистических решений [4] оптимальное решающее правило $u^*(l)$, для поставленной задачи определяется выражением [3]:

$$u^*(l) = \begin{cases} 1, & \text{если } \Lambda(l) > \Lambda_0, \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (12)$$

где $u^*(l)$ – результат принятия решения;

$\Lambda(l)$ – отношение правдоподобия:

$$\Lambda(l) = \frac{p(l/r=1)}{p(l/r=0)}, \quad (13)$$

Пренебрегая влиянием шума на $p(l/r = 1)$, будем считать, что:

$$p(l/r = 1) = p(h) = \begin{cases} \frac{1}{c_{max} - c_{min}}, & \text{если } c_{max} \leq h \leq c_{min}; \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (14)$$

Плотность распределения величины l при условии $r = 0$ можно вычислить путём как:

$$p(l/r = 0) = p(f) * p(\xi). \quad (15)$$

Отношение правдоподобия (13) с учётом (14) и (15) принимает вид:

$$\Lambda(l) = \frac{1}{(c_{max} - c_{min})p(f)*p(\xi)} \quad (16)$$

Условие $\Lambda(l) > \Lambda_0$ равносильно $p(f) * p(\xi) < \Lambda'$, где $\Lambda' = 1/[\Lambda_0(c_{max} - c_{min})]$.

Принятие решения о наличии объекта сводится к вычислению порога и его применению к функции условной плотности распределения $p(l/r = 0)$. Поскольку распределение $p(l/r = 0)$ является нормальным с известной дисперсией, нахождение порогового значения эквивалентно заданию $(1 - p_-) \cdot 100\%$ доверительного интервала для распределения $p(l/r = 0)$.

Таким образом, принимается решение о наличии объекта, если величина l не попадает в $(1 - p_-) \cdot 100\%$ доверительный интервал для $p(l/r = 0)$. В противном случае принимается решение о присутствии фона в точке (x_0, y_0) . Формально это правило можно записать так:

$$\hat{r} = \begin{cases} 1, & \text{если } |g(\hat{x}, \hat{y}) - l| > d(p_-) \sqrt{D(l/r = 0)}; \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (17)$$

Здесь $d(p_-)$ – половина ширины $(1 - p_-) \cdot 100\%$ доверительного интервала для нормированной гауссовой случайной величины.

Экспериментальные исследования

Для экспериментальных исследований был выбран видеосюжет, продолжительность которого 319 кадров (13 секунд). Исходными данными являются изображения наблюдаемой сцены, результатами – бинарные изображения (рис.1).

На рисунке 1(а) и 1(б) представлен результат работы многоэталонного алгоритма, с выделением опорных участков и зоной выбора эталонов (слева), и результат работы алгоритма выделения подвижных объектов, с координатами опорных участков и координатами

подвижного объекта (справа). Количество эталонов на рисунке 1(а) равно $M_{\text{эт}} = 5$, они имеют размер 32×32 пикселя, на рисунке 1(б) количество эталонов равно $M_{\text{эт}} = 10$, они имеют размер 16×16 пикселя.

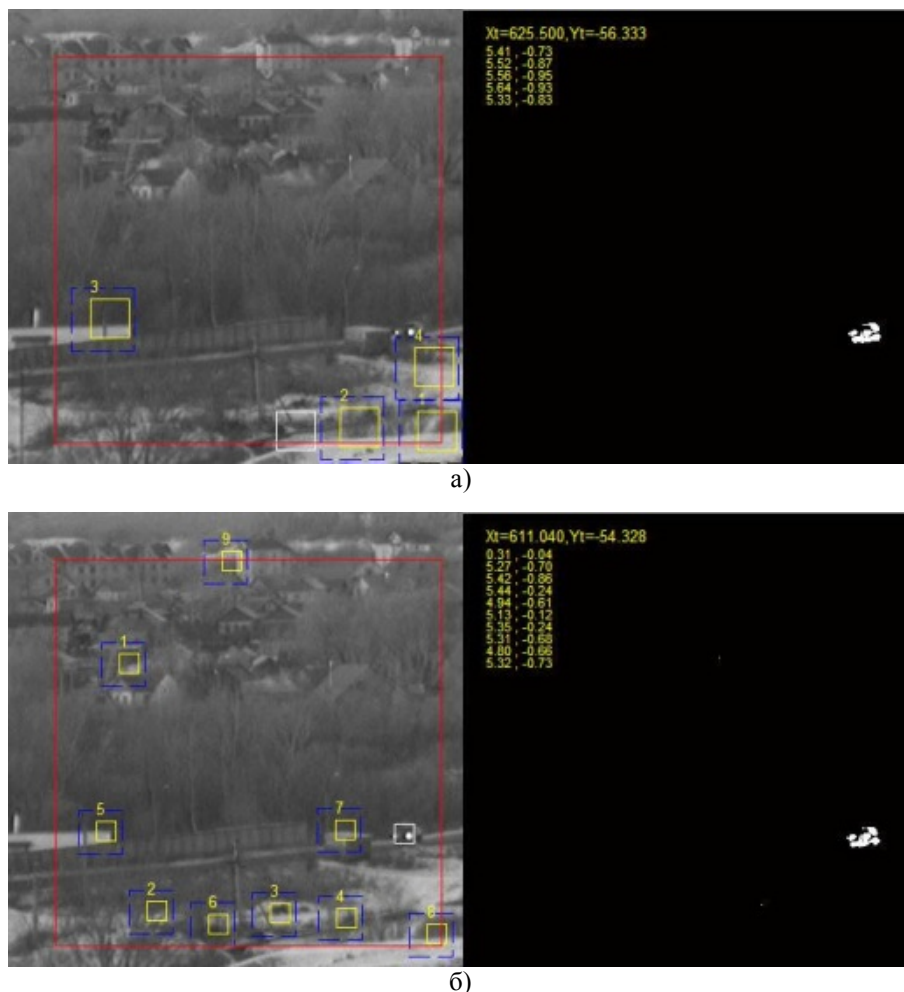


Рис. 1. Пример, иллюстрирующий работу алгоритма выделения подвижных объектов:
а) выделение подвижных объектов при размере эталона – 32×32 пикселя и $M_{\text{эт}} = 5$;
б) выделение подвижных объектов при размере эталона – 16×16 пикселя и $M_{\text{эт}} = 10$

Выводы

В статье рассмотрена задача выделения подвижных объектов. Предлагается алгоритм оценивания параметров преобразования смещения и алгоритм выделения подвижных объектов, который состоит из: вычисления признаков изображений, первичной и пороговой обработки. Экспериментальные исследования показали работоспособность алгоритма, который позволяет повысить качество выделения объектов за счёт учёта геометрических искажений.

Библиографический список

1. Стротов В.В. Оценивание параметров смещения изображения в задачах выделения движущихся объектов. ISSN 1995-4565. Вестник РГРТУ. Вып. 23 Рязань, 2008. – С. 30-37.
2. Алпатов Б.А., Бабаян П.В. Методы обработки и анализа изображений в бортовых системах обнаружения и сопровождения объектов. Цифровая обработка сигналов. 2006, №2, с. 45-51.
3. 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.: ил.
4. Акимов П.С. и др. Сигналы и их обработка в информационных системах. – М.: 1994.

УДК 519.711; ГРНТИ 50.43.17

ПЕРЕОБОРУДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО НЕПРЕРЫВНОГО РЕГУЛЯТОРА СОСТОЯНИЯ

А.И. Бобиков, О.Н. Буркина*Рязанский государственный радиотехнический университет,**Россия, Рязань, olka-burkina@yandex.ru*

Аннотация. Рассматривается технология настройки коэффициентов цифрового закона управления нелинейными объектами, полученного в результате использования модифицированного метода переоборудования непрерывного регулятора состояния, основанного на разложении в ряд Ли.

Ключевые слова. Регулятор состояния, эмуляция, ряд Ли, согласование управляющий сигнал/функция Ляпунова, период дискретизации.

REDESIGN OF NON-LINEAR CONTINUOUS STATE CONTROLLER

A.I. Bobikov, O.N. Burkina*Ryazan State Radioengineering University,**Russia, Ryazan, olka-burkina@yandex.ru*

Abstract. The technology of adjusting the coefficients of the digital law governing the nonlinear objects, obtained as a result of using the modified method of conversion of a continuous state controller based on the Lee series expansion is considered.

Keywords. State controller, emulation, Lee series, matching control signal / Lyapunov function, sampling period.

Нелинейное цифровое управление робототехническими комплексами справляется с двумя сложными задачами: одна из них связана с нелинейной динамикой объекта управления, а другая учитывает цифровые аспекты, неизбежные в приложениях реального времени.

Цифровая (компьютерная) система управления работает в непрерывном режиме, при этом некоторые из ее сигналов подвергаются дискретизации (обычно периодической) в дискретные моменты времени. В этом же контексте система управления имеет закон управления с обратной связью по состоянию, вычисленный по выборочным данным измерений управляемой величины. Целью проектирования является создание цифрового регулятора, который удовлетворяет требованиям, предъявляемым для данного непрерывного объекта.

В литературе рассматриваются разные подходы. *Первый подход* заключается в разработке непрерывного регулятора состояния, а затем его дискретизации. Обычно реализация в дискретном времени непрерывной системы производится с помощью устройств выборки и хранения, таких как блок УВХ. Блок УВХ преобразует входной дискретный сигнал с фиксированным периодом дискретизации, а также производит кусочно-постоянный выходной сигнал с тем же периодом. В этом случае говорят об *эмуляции* непрерывного регулятора, и этот подход представляет собой часто используемую стратегию при применении цифрового регулятора. Главный недостаток состоит в том, что при таком подходе эффективность разработанного в начале проектирования непрерывного регулятора не может быть сохранена из-за дискретизации последнего. *Второй подход* заключается в разработке регулятора состояния на основе дискретной модели объекта и, таким образом, требования к управлению включают конечную длительность переходного процесса или оптимальное быстроедействие. Оставшаяся нерешенная проблема связана с поведением между моментами дискретизации, которое полностью игнорируется. *Третий подход* (проектирование выборочных данных) [1,2] учитывает тот факт, что непрерывная модель объекта получена и непрерывный регулятор выбран. В этом случае цифровой регулятор конструируется на основе дискретной эквивалентной модели непрерывного объекта, используя преимущество ее зависимости от важного параметра, а именно периода дискретизации. Основным преимуществом этого подхода является то, что он позволяет на теоретическом и фундаментальном уровне создавать цифровые регуляторы, которые воспроизводят непрерывные свойства при дискретизации [1,2]. Цифровой регулятор

проектируется относительно непрерывного закона управления как экспоненциальный ряд, параметризованный периодом дискретизации. Таким образом, при проектировании можно ставить задачи воспроизведения свойств, присущих непрерывным системам, в идеале, например, с точки зрения согласования: вход/состояние, вход/ выход, вход-функция Ляпунова [2,3].

Основная идея согласования управление вход/функция Ляпунова для нелинейной цифровой системы, модификация которой рассматривается в данной статье, заключается в следующем: принимая во внимание динамику (модель) непрерывного нелинейного объекта управления, описываемую обыкновенными дифференциальными уравнениями и функциями в виде гладких векторных полей, учитывая также уже ранее построенный непрерывный регулятор состояния, предназначенный для удовлетворения целей управления при определенном преобразовании вход/функция Ляпунова, и предполагая, что управление поддерживается неизменным на временных интервалах постоянной длительности (периодах дискретизации T), ставится задача: найти цифровой регулятор состояния, чтобы его эффективность с точки зрения функции Ляпунова замкнутой системы была такой же, как и при желаемой стратегии управления для непрерывной системы с обратной связью по состоянию. Это согласование (совпадение) требуется обеспечить только в моменты дискретизации ($t=iT$). Такая проблема называется *согласованием вход/функция Ляпунова при цифровом управлении*. Рассматриваемая здесь стратегия предполагает проектирование специального разложения в ряд выходного сигнала цифрового регулятора u_i , так чтобы он устранял остаточные члены разложения. Эта стратегия была введена в контексте линеаризации обратной связью и далее развита для метода ЗСУР [5].

Пусть объект описывается нелинейным уравнением состояния

$$\dot{x}_c(t) = f_c[x_c(t)] + g_c[x_c(t)]u_c(t), \quad (1)$$

где $x_c \in R^n$ и $u_c \in R$ – соответственно состояние и управляющий сигнал объекта.

Будем считать, что все функции $f_c(\cdot)$ и $g_c(\cdot)$ достаточно гладкие.

Предположим, что непрерывное управление определяется как $u_c(t) = u_i$ на каждом интервале длительностью T , тогда эквивалентное разностное уравнение, описывающее свойства объекта, управляемого от цифрового регулятора, имеет следующий вид:

$$x_{i+1}^c = F_d^T(x_i^c, u_i) = e^{T(f_c + g_c u_i)} x_i^c, \quad (2)$$

где использовано разложение в экспоненциальный ряд Ли [1,2]

$$e^{T(f_c + g_c u_i)} = 1 + \sum_{k \geq 1} \frac{L_{f_c + g_c u_i}^k}{k!}. \quad (3)$$

Здесь 1–оператор идентичности, $L_{f_c + g_c u_i}^k$ –производная Ли k -го порядка.

При известном законе управления $u(t) = u_c(t)$, полученном с помощью функции Ляпунова (ФЛ) $V[x_c(t)]$, разность последней на интервале длительностью T вычисляется путем интегрирования производной:

$$V[x_c(t = (i+1)T)] - V[x_c(t = iT)] = \int_{iT}^{(i+1)T} \dot{V}[x_c(\tau)] d\tau, \quad (4)$$

где $x_c(t)$ определяет изменение вектора состояния непрерывной замкнутой системы при $u_c(t)$.

Значение ФЛ для замкнутой непрерывной системы (объекта управления) для момента времени для $t = (i+1)T$ можно найти следующим образом:

$$V(x_{i+1}^c) = V(x_i^c) + T(L_f + u_c L_g)V(x_i^c) + \frac{T^2}{2!}[L_f^2 + u_c(L_g L_f + L_f L_g) + u_c^2 L_g^2 + \dot{u}_c L_g]V(x_i^c) + \frac{T^3}{3!}[(L_f + u_c L_g)^3 + 2\dot{u}_c(L_f + u_c L_g)L_g + \dot{u}_c L_g(L_f + u_c L_g) + \ddot{u}_c L_g]V(x_i^c) + O(T^4), \quad (5)$$

где $x_i^c = x_c(t)$, $t = iT$ и слагаемое $O(T^4)$ содержит остаточные члены разложения порядка малости больше чем третьего от T .

Свойство согласования вход/функция Ляпунова выполняется, если существует кусочно-постоянный закон управления u_i такой, что эволюция функции Ляпунова для цифровой системы $V[x_i]$ соответствует (2) в моменты выборки $t = iT$, т. е. пара x_i, u_i удовлетворяет равенству

$$V[x_{i+1}] - V[x_i] = \int_{iT}^{(i+1)T} \dot{V}[x_c(\tau)] d\tau, \quad (6)$$

где $x_i = x_c(t = iT)$ и x_{i+1} вычисляются с помощью (1), так что

$$V(x_{i+1}) = V(x_i) + (L_f + u_i L_g)V(x_i) + \frac{T^2}{2!}[L_f^2 + u_i(L_g L_f + L_f L_g)]V(x_i) + \frac{T^3}{3!}(L_f + u_i L_g)^3 + O_1(T^4) \quad (7)$$

с $O_1(T^4)$ остальными членами разложения в ряд функции Ляпунова для цифровой системы.

Отсюда цифровое управление u_i воспроизводит в моменты дискретизации значения функции Ляпунова для непрерывной замкнутой системы и обеспечивает асимптотическую устойчивость цифровой системы для достаточно малых периодов дискретизации. В [4] показано, что, если получен непрерывный закон управления с обратной связью по состоянию u_c , такой, что существует функция Ляпунова $V[x_c(t)]$, которая гарантирует устойчивость исходной непрерывной системы, то существует значение $T^* > 0$ такое, что для любого периода дискретизации T в $(0, T^*]$ имеет место цифровая обратная связь $u_i = u_{dp}$, которая обеспечивает ту же эволюцию функции Ляпунова при дискретизации и гарантирует асимптотическую устойчивость эквивалентной цифровой системы. Те же самые эволюции функции Ляпунова при дискретизации нужно понимать также как воспроизведение при цифровом управлении свойства устойчивости непрерывной системы, по крайней мере, в каждый момент дискретизации. При этом имеет место решение для (6) в виде асимптотического разложения по степеням T :

$$u_i = u_{dp} = u_{i0} + \sum_{k=1}^p \frac{T^k}{(k+1)!} u_{ik}. \quad (8)$$

Используя разложение в ряд Ли функций Ляпунова (5) и (7), получаем равенство (6) в следующем виде:

$$\begin{aligned}
Q(x_i, T, u_i) = & (L_f + u_i L_g)V(x_i) + \frac{T}{2!}[L_f^2 + u_i(L_g L_f + L_f L_g)]V(x_i) + \frac{T^2}{3!}(L_f + u_i L_g)^3 + O_1(T^3) - \\
& - (L_f + u_c L_g)V(x_i^c) - \frac{T}{2!}[L_f^2 + u_c(L_g L_f + L_f L_g) + u_c^2 L_g^2 + \dot{u}_c L_g]V(x_i^c) - \\
& - \frac{T^2}{3!}[(L_f + u_c L_g)^3 + 2\dot{u}_c(L_f + u_c L_g)L_g + \dot{u}_c L_g(L_f + u_c L_g) + \ddot{u}_c L_g]V(x_i^c) - O_2(T^3)
\end{aligned} \quad (9)$$

с $O_2(T^3)$ остаточными членами разложения третьего порядка малости в ряд функции Ляпунова для непрерывной системы. Значения u_{dp} вычисляются посредством (8) с неизвестной переменной u_i . Равенство (9) удовлетворяется после замены u_i на (8) и затем путем сравнения и приравнивания членов, содержащих одну и ту же степень T . Первыми вычисленными членами u_{dp} , приведенными в [4], являются

$$u_{i0}(x_i) = u_c|_{x_i}, \quad (10)$$

$$u_{i1}(x_i) = \dot{u}_c|_{x_i}, \quad (11)$$

$$u_{i2}(x_i) = \ddot{u}_c + \frac{\bar{u}_1}{2} ad_{[f,g]}V(L_g V)^{-1}|_{x_i}. \quad (12)$$

где $ad_{[f,g]}V = [f, g] = L_f L_g V(x) - L_g L_f V(x)$, $ad_{[f,g]}^p V = [f, ad_{[f,g]}^{p-1} V]$, $ad_{[f,g]}^0 V = g$ – скобки Ли.

Как видно из (10)-(12), увеличение порядка p регулятора приводит к более сложным выражениям для закона управления, и, как следствие, ожидается большая степень колебательности для больших значений T . Однако более высокой точности переоборудования можно добиться лишь путем увеличения порядка цифрового регулятора состояния и/или уменьшения периода дискретизации. При этом, чем больше порядок p цифрового регулятора состояния, тем большее число слагаемых (членов ряда) описывают полученный закон управления.

В данной работе предлагается модифицировать закон управления для цифрового регулятора, используя вместо (8) управляющее воздействие в виде

$$u_i = u_{dp} = u_{i0} + \sum_{k=1}^p \frac{(1 - q_k T) T^k}{(k+1)!} u_{ik}, \quad 0 \leq q_k < 1/T. \quad (13)$$

Цель методики, предлагаемой нами, повысить точность переоборудования *при заданном периоде дискретизации и фиксированном порядке регулятора* за счет введения постоянных коэффициентов q_k в слагаемые, представляющие цифровой закон управления (8), другими словами, мы предлагаем взвешивать члены ряда, составляющие закон управления для цифрового регулятора. Тем самым, в отличие от [1,2] мы не добиваемся точного совпадения разностей функций Ляпунова для непрерывного и цифрового регуляторов, а стремимся уменьшить при $t = (i+1)T$ несоответствие

$$E_V(x_i) = V(x_{i+1}) - V_c(x_{i+1}), \quad (14)$$

между ними с помощью снижения влияния остаточных членов разложения ошибки аппроксимации и тем самым обеспечить большую отрицательность для разности функций Ляпунова. Дело в том, что введение коэффициентов $1 - q_k T$ уменьшает в (9) не только члены третьего $O(T^3)$, но и члены четвертого $O(T^4)$ порядков малости, тем самым уменьшает отличие

$V(x_{i+1}) - V(x_i)$ от $V_c(x_{i+1}) - V_c(x_i)$. Итак, мы используем точные цифровые модели непрерывного регулятора, предложенные в [1,2], но не ставим задачу обеспечить соответствие разностей функций Ляпунова непрерывной и цифровой систем с точностью до высокого порядка, определяемого числом членов совпадающих членов разложения в ряд Ли, а пытаемся уменьшить несоответствие с помощью уменьшения отличия этих разностей в целом. Для цифрового регулятора первого порядка, когда с учетом (8) и (10)-(11) $u_{d1} = u_c + \frac{T}{2}\dot{u}_c$, т.е. когда используется традиционный подход, ошибка аппроксимации (14) имеет вид:

$$E_v = T^3 \dot{u}_c \left\{ \frac{1}{4} [2u_c + (L_g L_f V + L_f L_g V) - \frac{1}{6} [2(L_f + u_c L_g) L_g V + L_g (L_f V + u_c L_g V)]] \right\} - \frac{T^3}{6} \ddot{u}_c L_g V + \frac{T^4}{8} \dot{u}_c^2. \quad (15)$$

В соответствии с предлагаемым подходом, выражаемым формулами (13) и (10)-(11) принимаем $u_i = u_c + \frac{T}{2}(1 - q_1 T)\dot{u}_c$, т.е. заменяем $\dot{u}_c$ на $(1 - q_1 T)\dot{u}_c$ в слагаемых, образующих $V(x_{i+1})$, тогда получаем

$$E_v = T^3 (1 - q_1 T) \dot{u}_c \left\{ \frac{1}{4} [2u_c + (L_g L_f V + L_f L_g V) - \frac{1}{6} [2(L_f + u_c L_g) L_g V + L_g (L_f V + u_c L_g V)]] \right\} - \frac{T^3}{6} \ddot{u}_c L_g V + \frac{T^4}{8} (1 - q_1 T)^2 \dot{u}_c^2. \quad (16)$$

Как видим, введение коэффициента $1 - q_1 T$ уменьшает не только $O(T^3)$, но и $O(T^4)$, тем самым уменьшает отличие разности $V(x_{i+1}) - V(x_i)$ от разности $V_c(x_{i+1}) - V_c(x_i)$.

Для конкретного примера нелинейного объекта управления, описываемого уравнениями

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= -x_1^3(t) + x_1(t)u(t), \\ \dot{x}_2(t) &= u(t), \end{aligned}$$

непрерывный закон управления

$$u_c(t) = -Kx_2(t), \quad K > 0$$

обеспечивает асимптотическую устойчивость замкнутой непрерывной системы, описываемой уравнениями

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= -x_1^3(t) - Kx_1(t)x_2(t), \\ \dot{x}_2(t) &= Kx_2(t), \end{aligned}$$

относительно начала координат, так как производная функции Ляпунова $V = x_2^2(t)/2$ удовлетворяет условию $\dot{V}(t) = x_2 u = -Kx_2^2 < 0$. Используем V как функцию управления Ляпунова для переоборудования непрерывного регулятора состояния. Учитывая, что производные Ли определяются как

$$L_f V(x_i) = L_f^2 V(x_i) = 0, \quad L_g V(x_i) = x_{2i}, \quad L_g^2 V(x_i) = 1, \quad L_g L_f V(x_i) = L_f L_g V(x_i) = 0,$$

так что

$$V_c(x_{i+1}) = \frac{1}{2}(x_{2i})^2 [1 - 2KT + 2K^2 T^2 - \frac{4}{3} K^3 T^3 + O_2(T^4)]$$

и

$$V(x_{i+1}) = \frac{1}{2} x_{2i}^2 [1 - 2KT + 2K^2 T^2 + \frac{K^3 T^3}{8} + O_1(T^4)].$$

Сравним соответствие между функциями Ляпунова непрерывной и цифровой систем:

$$E_v(x_i) = x_{2i}^2 [-K^3 T^3 / 6 + O(T^4)].$$

При модификации закона управления для цифрового регулятора первого порядка в соответствии с предлагаемым нами подходом ошибка аппроксимации оказывается равной

$$E_v(x_i) = \frac{1}{2} x_{2i}^2 [T^3 K^2 (\frac{1}{3} K - q_1) + O(T^4)].$$

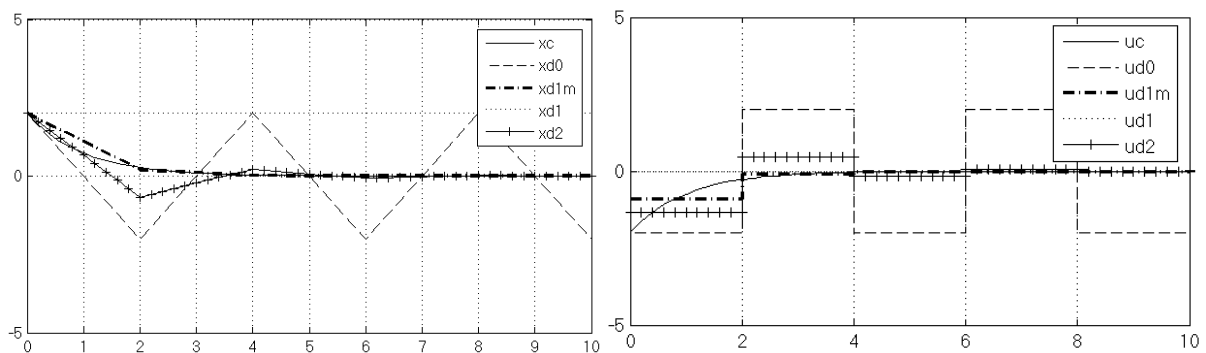


Рис. 1

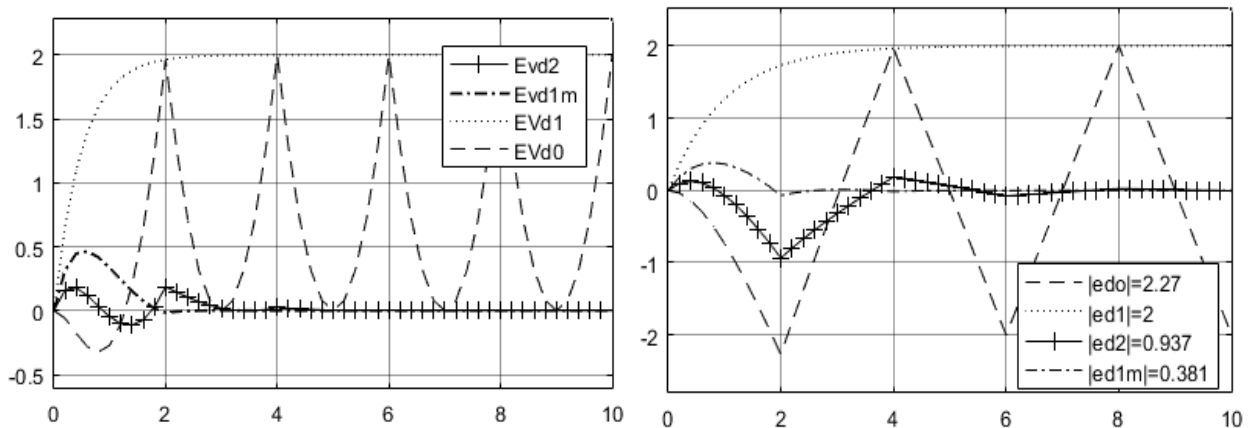


Рис. 2

Тогда за счет выбора q_1 можно уменьшить слагаемое, содержащее T^3 , и тем самым добиться большей близости разности функции Ляпунова цифровой системы к разности функции Ляпунова непрерывной системы. Выбирая $q_1 = K / 3$, получаем $E_v(x_i) = O(T^4)$, таким образом, повышаем точность переоборудования непрерывного регулятора до четвертого порядка малости с помощью модифицированного регулятора первого порядка, не прибегая к использованию регулятора второго порядка.

На рисунке 1 приведены графики зависимости управления u и выходного сигнала x (здесь совпадающим с состоянием x_2), и на рисунке 2 – графики изменения ошибок переоборудования $e = x_c - x_d$ и ошибок аппроксимации E_v при $T = 2c$, $K = 1$, $x_2(0) = 2$.

Тестируемый регулятор является непрерывным регулятором (индекс c), эмулируемым регулятором (индекс d0), регулятором первого порядка (индекс d1), модифицированным ре-

гулятором первого порядка (индекс $d1m$) и регулятором второго порядка (индекс $d2$). Эмулируемый регулятор порождает колебания и регулятор первого порядка приводит систему к устойчивому состоянию, но далеко от начала координат. При $q_1 = 1/3$ свойства цифровой системы управления для модифицированного регулятора первого порядка и регулятора второго порядка совпадают. Путем уменьшения q_1 до 0.225 можно добиться лучшей точности аппроксимации по сравнению с регулятором второго порядка.

Заключение

В статье рассмотрена задача переоборудования непрерывного регулятора состояния с целью получить цифровую систему управления с характеристиками близкими свойствам непрерывного прототипа путем использования согласования вход/функция Ляпунова. Основная проблема связана с необходимостью повышения порядка регулятора и/или периода дискретизации для увеличения точности аппроксимации, что увеличивает сложность реализации и ограничивает возможности применения. Предложен подход, позволяющий добиться требуемой точности аппроксимации с помощью использования регуляторов низкого порядка за счет введения настраиваемых постоянных коэффициентов в членах экспоненциального ряда разложения функций Ляпунова.

Библиографический список

1. Monaco and D. Normand-Cyrot, Issues on nonlinear digital systems. European Journal of Control - Special Issue, 2001, 7, 160-178, 2-3.
2. S. Monaco, D. Normand-Cyrot and F. Triefensee. Sampled-data redesign of stabilizing feedback. In Proc. ACC, Baltimore, pages 1805–1810, 2010.
3. D. Nešić and L. Grüne. Lyapunov based continuous-time controller redesign for sampled- data implementation. Automatica, vol. 41, pages 1143–1156, 2005.
4. F. Triefensee. Méthodes asymptotiques pour la commande des systèmes non-linéaires échantillonnés. PhD thesis, Paris-Sud 11 University, 2010.
5. А.И. Бобиков, Е.А. Галкина. Цифровой ЗСУР-регулятор для нелинейного объекта управления. Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий: Материалы Международной научно-практической конференции, Сочи, Соч. гос. ун-т, 2016.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.Д. Коньков

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, sashaknkv@rambler.ru

Аннотация. В работе рассмотрены критерии работоспособности корреляционно-экстремальных алгоритмов измерения координат. Представлены результаты сравнительных экспериментальных исследований, выполненные с использованием натуральных видеосюжетов.

Ключевые слова. Изображение, алгоритм измерения координат, количественные характеристики работоспособности, корреляционно-экстремальные алгоритмы

ASSESSMENT OF WORKING CAPACITY CORRELATIVE EXTREMAL ALGORITHMS OF MEASUREMENT OF COORDINATES IN THE SEQUENCE OF IMAGES

A.D. Konkov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, sashaknk@rambler.ru*

Abstract. In this work performance indicators for the object coordinate estimation algorithms based on template matching are considered. The results of the comparative experimental examinations are given. The natural video is used for the experimental examination.

Keywords. Image, coordinate estimation algorithms, performance indicators, template matching algorithms

Введение

Системы технического зрения (СТЗ), предназначенные для обнаружения и отслеживания объектов по данным видеонаблюдения, получили широкое применение в комплексах технического контроля, аэрокосмического мониторинга и навигации пилотируемой и беспилотной техники. Одной из задач, решаемых такими системами, является измерение координат объектов в последовательности изображений.

Алгоритмы обработки изображений должны обеспечивать приемлимое качество решение задачи в заданных условиях наблюдения. Измерение координат должно производиться в режиме реального времени. Таким образом, алгоритм должен обладать невысокой вычислительно сложностью. Из всего многообразия алгоритмов необходимо выбрать алгоритм, обеспечивающий решение задачи измерения координат при заданных ограничениях. При этом также стоит задача правильного подбора параметров этого алгоритма. Для оценивания эффективности алгоритмов измерения координат объектов при изменении их параметров или сравнении друг с другом требуется вводить критерии оценки их работоспособности.

В данной работе произведены исследования и сравнения работы корреляционно-экстремальных алгоритмов измерения координат объектов. Для проведения исследований рассмотрены несколько критериев работоспособности.

Корреляционно-экстремальные алгоритмы измерения координат объектов

Реализация корреляционно-экстремальных алгоритмов (КЭА) измерения координат состоит в том, что известное заранее изображение объекта, которое обычно называют эталоном, сравнивается с наблюдаемым изображением. Для этого при различных смещениях эталона на наблюдаемом изображении вычисляется значение некоторого критерия. Положение эталона, при котором достигается максимальное или минимальное значение критерия, рассматривается как измеренное положение объекта [0].

Довольно часто на практике для измерения координат объектов применяется классический корреляционно-экстремальный алгоритм [0]

$$F(\alpha, \beta) = \sum_{v, \mu \in H} l(\alpha + v, \beta + \mu) \cdot h(v, \mu), \quad (1)$$

где $l(\alpha + v, \beta + \mu)$ - элементы наблюдаемого изображения L_n ;

$h(v, \mu)$ - элементы дискретного эталонного изображения объекта H_n ;

α и β - координаты центра объекта в системе координат изображения L_n ;

v и μ - координаты точек объекта в системе координат, связанной с центром объек-

та;

n - номер кадра изображения.

Недостатками классического КЭА являются большие вычислительные затраты, а также то, что он позволяет оценить координаты объекта с большими погрешностями при наличии неоднородного фона на изображении. С целью уменьшения влияния колебаний яркости изображения на точность определения координат объекта, используют нормированную взаимную корреляционную функцию [0]

$$F(\alpha, \beta) = \frac{\sum_{v, \mu \in H} h(v, \mu) \cdot l(\alpha + v, \beta + \mu)}{\sqrt{\sum_{v, \mu \in H} h^2(v, \mu)} \cdot \sqrt{\sum_{v, \mu \in H} l^2(\alpha + v, \beta + \mu)}}. \quad (2)$$

Для корреляционного алгоритма (как в классическом, так и нормированном вариантах) представляется возможным сократить требуемый объем вычислений, если вычислять корреляцию с помощью преобразования Фурье.

Пусть $F(u, v)$ и $H(u, v)$ обозначают Фурье-образы функций $f(x, y)$ и $h(x, y)$, соответственно. Корреляция в пространственной области $f(x, y) \circ h(x, y)$ и произведение $F^*(u, v)H(u, v)$ образуют Фурье-пару. Этот результат, который можно записать в виде

$$f(x, y) \circ h(x, y) \Leftrightarrow F^*(u, v)H(u, v), \quad (3)$$

означает, что корреляционная функция в пространственной области может быть получена как результат обратного преобразования Фурье, применённого к произведению $F^*(u, v)H(u, v)$, где F^* - комплексно-сопряжённая к F функция [0].

Недостатком алгоритмов, описанных выше, является большое количество операций умножения и сложения. Для снижения вычислительной сложности при поиске объектов на изображении используются критериальные разностные функции [0]. Все многообразие разностных критериальных функций задается общей формулой

$$F(\alpha, \beta) = \sum_{i, j \in H} |l(i + \alpha, j + \beta) - h(i, j)|^k, \text{ где } k=1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

Преимуществом разностных функций является отсутствие операции умножения. Наибольшее распространение, особенно при необходимости работы в реальном масштабе времени, получили алгоритмы на основе критериальных функций модуль разницы ($k=1$) и квадрат разницы ($k=2$).

Оценка работоспособности измерения координат

Оценка работоспособности алгоритмов измерения координат объектов основана на применении двух типов количественных критериев. Первый тип критериев – признаки работоспособности (ПР). Они основаны на анализе пространственно-временных характеристик фона и объекта, координаты которого нужно измерять. При вычислении ПР не используются эталонные данные, что является преимуществом ПР. Однако, ПР дают лишь оценочную, не всегда адекватную характеристику работоспособности [0].

Второй тип критериев основывается на сравнении эталонных координат объекта с измеренными. Такие критерии называются количественные характеристики работоспособности (КХР). Так, в работе [0] подробно описываются следующие КХР: доля успешно отслеживаемых объектов; время завязывания траектории; количество потерь объектов за заданный промежуток времени; среднеквадратическая ошибка слежения и другие. Большим плюсом

КХР является то, что они дают возможность сравнивать работоспособность различных алгоритмов и, таким образом, выбирать наилучший алгоритм [0].

Чаще всего КХР описываются величинами, принимающими значения из непрерывного множества или множества натуральных чисел. В данной работе используется двоичная КХР, которая принимает значения «работоспособен»/«не работоспособен» на каждом кадре. Критерий принимает значение «работоспособен» (1), пока разность e между эталонным центром объекта и центром найденного изображения объекта не превышает порог $R = c\sqrt{a^2 + b^2}$:

$$e(n) = \sqrt{(\hat{x}_c(n) - x_{\text{эталон}}(n))^2 + (\hat{y}_c(n) - y_{\text{эталон}}(n))^2} \leq R, \quad (5)$$

где $\hat{x}_c(n), \hat{y}_c(n)$ - координаты центра найденного изображения на n -ом кадре;
 $x_{\text{эталон}}(n), y_{\text{эталон}}(n)$ - координаты эталонного центра объекта на n -ом кадре;
 a и b - эталонные размеры объекта;
 c - коэффициент, отвечающий за величину радиуса [0].

Момент, когда разность e впервые превысит порог R , будем называть срывом слежения. В этот момент критерий принимает значение «не работоспособен» (0).

Точность алгоритма измерения координат можно охарактеризовать с помощью усредненной ошибки измерения координат центра AE . По окончании видеосюжета или когда происходит срыв слежения находится усредненная ошибка измерения координат центра

$$AE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e(i). \quad (6)$$

Частота правильной локализации FCL - это отношение числа кадров видеопоследовательности, на которых двоичная КХР принимает значение «работоспособен», к общему числу кадров. Также будем запоминать количество кадров до срыва слежения.

Результаты экспериментальных исследований

Для проведения исследований и сравнения алгоритмов была создана программа на m -языке в среде разработки MATLAB. Работа программной реализации алгоритмов, описанных во втором пункте этой работы, была протестирована на наборе натуральных видеопоследовательностей, сформированных датчиком, работающем в видимом диапазоне. Для вычисления КХР использовались эталонная информация о местоположении объектов. Первые кадры некоторых видеосюжетов представлены на рисунке 1.

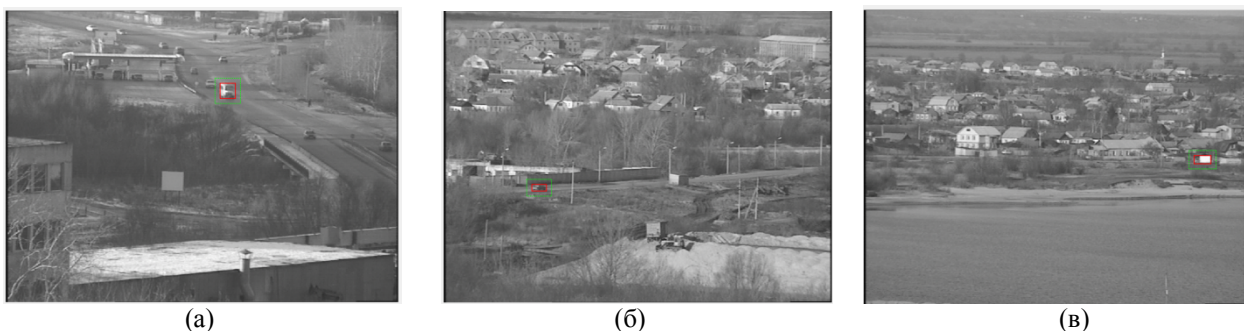


Рисунок 1 – Первые кадры видеопоследовательностей:

а - с объектом «автобус»; б - с объектом «газель»; в - с объектом «машина»

Для двоичной КХР, описанной в пункте 3, выбрали коэффициент, отвечающий за длину радиуса c равный 0.2. Далее для упрощения изложения будем называть: алгоритм № 1 - алгоритм на основе критериальной функции модуль разности; алгоритм № 2 - алгоритм на

основе критериальной функции квадрат разности; алгоритм № 3 - классический КЭА; алгоритм № 4 - классический КЭА с нормированием; алгоритм № 5 - классический КЭА с помощью БПФ.

В таблицах 1, 2 и 3 приведены результаты работы алгоритмов на основе различных критериальных функций.

Таблица 1 – Результаты исследований для видеопоследовательности с объектом «автобус»

КХР \ Алгоритм	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Количество кадров до срыва слежения	-	-	172	-	-
<i>AE</i>	2.0718	2.0314	2.3574	2.0042	2.7936
<i>FCL</i>	1	1	0.85	1	1

Таблица 2 – Результаты исследований для видеопоследовательности с объектом «машина»

КХР \ Алгоритм	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Количество кадров до срыва слежения	-	23	2	23	-
<i>AE</i>	1.4426	2.1591	10.4403	2.0767	2.4887
<i>FCL</i>	1	0.27	0.2	0.27	1

Таблица 3 – Результаты исследований для видеопоследовательности с объектом «газель»

КХР \ Алгоритм	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Количество кадров до срыва слежения	-	-	153	-	-
<i>AE</i>	1.2932	1.3019	1.3522	1.3028	1.9256
<i>FCL</i>	1	1	0.69	1	1

Выводы

Сравнение алгоритмов на основе полученных результатов показало, что классический КЭА и алгоритм на основе критериальной функции квадрат разности плохо работают в условиях, когда яркость объекта несильно отличается от яркости фона. Классический КЭА с нормированием и алгоритм на основе критериальной функции модуль разности показывают приблизительно одинаковые результаты с точки зрения введенных КХР. Однако, из за операций умножения классический КЭА с нормированием требует больших вычислительных мощностей, чем алгоритм на основе критериальной функции модуль разности. В реальных условиях при ограничениях на вычислительную базу и значительных ограничений на время обработки одного кадра чаще всего используется алгоритм на основе критериальной функции модуль разности.

Библиографический список

1. Алпатов Б.А., Бабаян П.В. Методы обработки и анализа изображений в бортовых системах обнаружения и сопровождения объектов. // Цифровая обработка сигналов. – 2006. – №2. – С. 45-51.
2. Алпатов Б.А., Селяев А.А. Алгоритм оценки местоположения объекта на двумерном изображении // Изв. вузов. Приборостроение. 1988. Т. XXXI. № 5. С. 3-6.
3. Прэйт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — Кн. 2 — 480 с.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. - М. Техносфера, 2005 - 1072с.
5. Алпатов Б. А., Бабаян П. В., Смирнов С. А. Автоматическое слежение за объектами при отсутствии априорных сведений о фоноцелевой обстановке. Цифровая обработка сигналов. 2009. № 3. С. 52–56.
6. Ronald Rothrock, Oliver Drummond Performance metrics for multiplesensor multiple-target tracking // Proc. of SPIE Vol. 4048, Signal and Data Processing of Small Targets 2000, pp. 521-531.

УДК 004.932.2; ГРНТИ 28.23.15

НАХОЖДЕНИЕ КООРДИНАТ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ ПРИ СМЕЩЕНИИ ВИДЕОДАТЧИКА

С.М. Ларионов, А.А. Селяев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, г.Рязань, sergej.larionov.94@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается проблема нахождения координат движущегося объекта на изображении при смещении видеодатчика. Предлагается возможный подход к решению данной задачи. Описана область применения такого подхода.

Ключевые слова. Смещение видеодатчика, движущийся объект, координаты объекта, сумма разностей по модулю.

MOVING OBJECT COORDINATE FINDING ON IMAGE PROVIDED SHIFT OF VIDEOCAMERA

S.M. Larionov, A.A. Selyaev

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, sergej.larionov.94@mail.ru*

Abstract. In this paper problem of moving object coordinate finding on image provided shift of videocamera is studied. Possible method of this problem solution is offered. Area of practical application of this method is described.

Keywords. Videocamera shift, moving object, object coordinate, sum of absolute differences.

Одной из основных задач анализа последовательностей изображений является нахождение координат движущегося объекта. В основе большинства детекторов движения лежит сравнение двух кадров, полученных в различные моменты времени [4].

Однако зачастую сам видеодатчик расположен на некотором подвижном носителе. Поэтому за время между кадрами происходит смещение всей снимаемой сцены, попадающей в поле зрения камеры, за счет изменения положения видеодатчика. Поэтому прежде, чем определить положение движущегося объекта на изображении, следует решить задачу совмещения рассматриваемых кадров последовательности.

Предположим, что возможно отклонение подвижного носителя только по вертикальной и горизонтальной оси без поворота и изменения масштаба. Для определения параметров линейного сдвига изображения кадра вследствие такого смещения видеодатчика предлагается выделить некоторую центральную часть на изображении (назовем её опорное изображение), полученном в более ранний момент времени, и затем найти соответствующую ему область на изображении одного из последующих кадров. Размер и координаты центральной части начального кадра выбираются исходя из максимально возможного смещения камеры за время между кадрами. На рисунке 1 представлен пример двух кадров видеопоследовательности: начальный кадр (слева) и текущий кадр (справа). На начальном кадре штрихпунктирной линией выделена центральная область изображения.

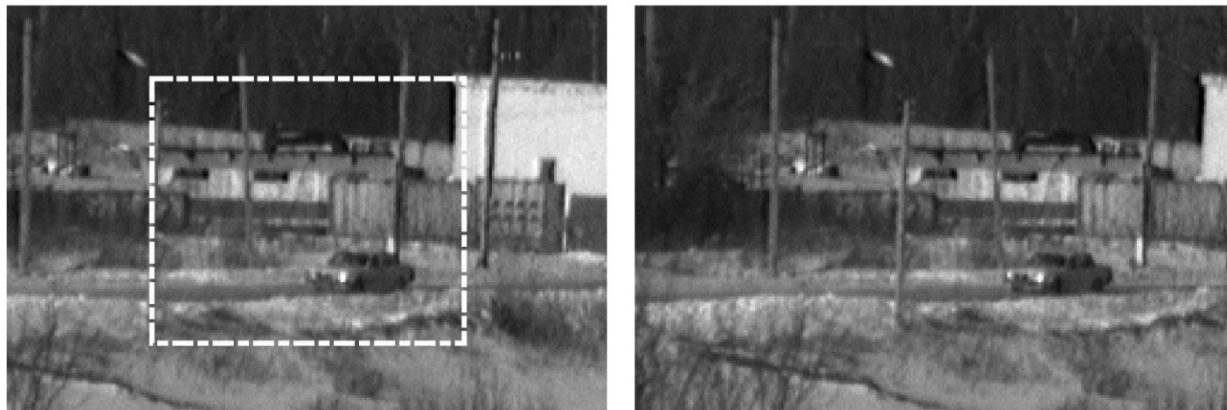


Рис. 1. Начальный и текущий кадры видеопоследовательности

Для решения поставленной задачи совмещения изображений может быть использован метод сопоставления с эталоном. Данный метод состоит в попиксельном сравнении некоего заранее выбранного шаблона с каждым участком текущего кадра, совпадающим с этим шаблоном по размеру. С вычислительной точки зрения, это сравнение заключается в нахождении значения некоторой критериальной функции для определения соответствия областей двух изображений. На практике широкое применение нашла критериальная функция, представляющая собой сумму разностей по модулю значений яркостей [1, 2] соответствующих точек шаблона и обрабатываемой области текущего кадра. Выражение для такой критериальной функции имеет следующий вид:

$$F(x, y) = \sum_{(i, j) \in H} |H(i, j) - G(i + x, j + y)|, \quad (1)$$

где $F(x, y)$ – значение критериальной функции для точки (x, y) совмещения шаблона H и обрабатываемого участка текущего кадра;

$H(i, j)$ – значение яркости в точке с координатами (i, j) шаблона H размером $(h_1 \times h_2)$, причем, под координатами точки, другими словами, пикселя на изображении, понимается номер этого пикселя по вертикали и горизонтали соответственно;

$G(i + x, j + y)$ – значение яркости в точке с координатами $(i + x, j + y)$ текущего кадра G размером $(g_1 \times g_2)$;

координаты i и j принимают значения от 1 до h_1 и от 1 до h_2 соответственно;

координаты x и y принимают значения от 0 до $(g_1 - h_1)$ и от 0 до $(g_2 - h_2)$ соответственно.

За координаты наилучшего совмещения используемого шаблона H с рассматриваемым кадром G видеопоследовательности принимается точка (x_m, y_m) , соответствующая минимальному значению $F(x_m, y_m)$ критериальной функции.

Для решения поставленной задачи предлагается модификация алгоритма, описанного в работе [3]. В качестве шаблона будет выступать часть центральной области начального кадра за исключением изображения движущегося объекта. Причем, для точного совмещения изображений необходимо отбросить область на опорном изображении и область обрабатываемого участка текущего кадра, где находится изображение искомого объекта, так как изменение яркостей соответствующих точек, связанное с движением, может существенно повлиять на получаемое значение критериальной функции. Такое влияние будет тем больше, чем больше размеры (и/или скорость движения) объекта по отношению к размеру опорного изображения. Чтобы исключить влияние изображения движущегося объекта, вводится некоторое окно. Так как заранее положение движущегося объекта неизвестно, необходимо перебирать все возможные положения такого окна для каждой комбинации опорного изображения и участка и текущего кадра G . Отметим, что размеры такого окна должны выбираться исходя из предполагаемых размеров движущегося объекта и априорных данных о его скорости (о максимально возможной дистанции, пройденной объектом за время между рассматриваемыми кадрами).

На рисунке 2 показана работа предлагаемого алгоритма поиска точки наилучшего совмещения изображений. Слева представлено опорное изображение с отбрасываемым окном, выделенным штриховой линией, справа – текущий кадр, где светлой штрих-пунктирной линией отмечен некоторый обрабатываемый участок изображения G , а штриховой линией выделена текущая позиция исключаемого из рассмотрения окна.

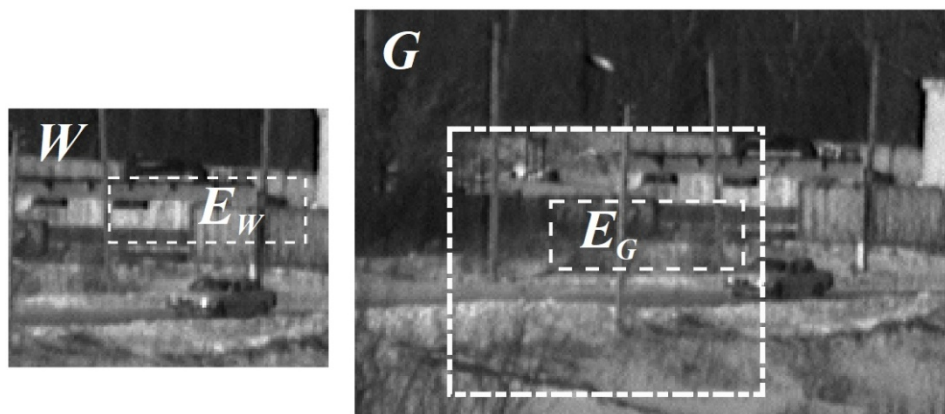


Рис. 2. Поиск точки наилучшего совмещения изображений

Опишем математически процесс поиска точки наилучшего совмещения изображений для указанных условий. Обозначим центральную область начального кадра (опорное изображение) как W , отбрасываемое окно для опорного изображения обозначим как E_W , окно для обрабатываемой области текущего кадра – как E_G . Вначале вычисляется значение критериальной функции F_0 для изображения W и рассматриваемого участка кадра G , затем – значение f для текущего положения отбрасываемого окна. Тогда результирующее значение критериальной функции будет найдено согласно следующему выражению:

$$F(x, y, a, b) = F_0(x, y) - f(a, b),$$

где

$$F_0(x, y) = \sum_{(i, j) \in W} |W(i, j) - G(i + x, j + y)|; \quad (2)$$

$$f(a, b) = \sum_{(i, j) \in E_W} |E_W(i + a, j + b) - E_G(i + a, j + b)|;$$

$F(x, y, a, b)$ – значение критериальной функции F для положения обрабатываемого участка текущего кадра (x, y) и положения отбрасываемого окна (a, b) ;

$F_0(x, y)$ – значение суммы разностей по модулю между соответствующими точками опорного изображения W и обрабатываемого участка текущего кадра G с координатами (x, y) ;

$f(a, b)$ – значение суммы разностей по модулю между соответствующими точками отбрасываемых окон E_W и E_G ;

$W(i, j)$ – значение яркости в точке с координатами (i, j) опорного изображения W размером $(w_1 \times w_2)$;

$G(i + x, j + y)$ – значение яркости в точке с координатами $(i + x, j + y)$ текущего кадра G размером $(g_1 \times g_2)$;

$E_W(i + a, j + b)$ – значение яркости в точке с координатами $(i + a, j + b)$ отбрасываемого окна E_W размером $(e_1 \times e_2)$ для опорного изображения W ;

$E_G(i + a, j + b)$ – значение яркости в точке с координатами $(i + a, j + b)$ отбрасываемого окна E_G размером $(e_1 \times e_2)$ обрабатываемого участка текущего кадра G .

В качестве искомого положения движущегося объекта принимаются координаты (a_m, b_m) , соответствующие минимальному значению $F(x_m, y_m; a_m, b_m)$ критериальной функции (2).

На рисунке 3 приведено изображение центральной области начального кадра (слева) и текущий кадр (справа) с найденной точкой наилучшего совмещения: светлой штрихпунктирной линией отмечен участок, соответствующий опорному изображению, штриховой – искомое положение движущегося объекта.

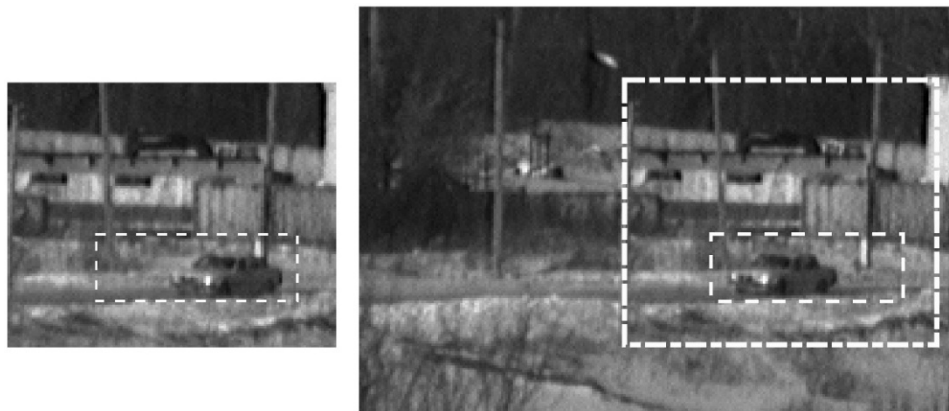


Рис. 3. Результата работы предлагаемого алгоритма

Описанный алгоритм может быть использован и при малых отклонениях камеры, находящейся на номинально неподвижном носителе, то есть когда смещение фонового изображения происходит за счет вибраций и незначительных изменениях положения видеодатчика (к примеру, сильные порывы ветра или дрожание камеры, когда съемку ведет оператор вручную). Также предлагаемый подход может быть использован в различного рода охран-ных системах, при сжатии видео, в робототехнике для координации автономных устройств.

Библиографический список

1. Fast sum of absolute differences visual landmark detector / C. Watman [and others] // IEEE International Conference on Robotics and Automation : Proceedings. Vol. 5. – New Orleans, LA : IEEE, 2004 – pp. 4827 – 4832 : pic.
2. Обработка изображений и управление в системах автоматического сопровождения объектов : учеб. пособие / Б. А. Алпатов [и др.]. – Рязань : РГРТУ, 2011. – 235 с. : ил.
3. Селяев А.А. Реализация алгоритма определения смещения фона в последовательности изображений // Известия вузов. Приборостроение. Т. 41. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 1998. – № 6. – С. 45–49.
4. Сюй Л. Исследование методов и алгоритмов обнаружения движущихся объектов в видеопотоке [Электронный ресурс] / Сюй Лэй // Молодежный научно-технический вестник. – 2013. – № 5. URL. <http://sntbul.bmstu.ru/doc/568760.html>.

УДК 004.932.2; ГРНТИ 28.23.15

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ ЦИФР НА ОСНОВЕ РАЗРЕЖЕННЫХ АВТОКОДИРОВЩИКОВ

О. Архипова

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Россия, Рязань, helga.const@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассмотрен алгоритм распознавания рукописных цифр на основе разреженных автокодировщиков. Приведено описание построенной нейронной сети и результаты экспериментальных исследований на базе изображений MNIST, вычислены количественные характеристики работоспособности подхода.

Ключевые слова. Распознавание, нейронная сеть, автокодировщик, рукописные цифры.

HANDWRITTEN DIGITS RECOGNITION ALGORITHM BASED ON SPARSE AUTOENCODERS

O. Arkhipova

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, helga.const@mail.ru

Abstract. In this paper handwritten digits recognition algorithm based on sparse autoencoders is presented. The algorithm description and results of the experimental research on MNIST database are given, quantitative performance indicators are estimated.

Keywords. Recognition, neural network, autoencoder, handwritten digits.

Введение

В современном мире быстро развивается, такая область машинного обучения как нейронные сети. Для построения нейронных сетей применяются математические модели, которые учитывают явления подобные тем, которые происходят в нейронах живых существ. Основные преимущества нейронных сетей состоят в способности самостоятельного обучения на основе выборок. Широкие возможности применения нейросетей в практических приложениях обуславливают актуальность новых разработок. Примером одной из важных задач является оптическое распознавание символов, в частности, текста и цифр. И если для распознавания печатного текста часто используются классические методы обработки изображений, то для понимания рукописного текста это не всегда возможно. Однако появление новых подходов к машинному обучению и рост возможностей вычислительной техники позволяют создавать системы распознавания рукописных символов с точностью, близкой к возможностям человека [1].

Существенное затруднение представляет релевантное описание символа посредством набора текстурных признаков, поскольку такие признаки должны учитывать не только текущее значение яркости, но также яркости пикселей в некоторой окрестности и взаимосвязь между ними. Использование подобных локальных текстурных признаков на практике усложняется необходимостью формирования векторных признаков пространств очень больших размерностей с необходимостью последующей многомерной классификации. Таким образом, желательно предусмотреть способ снижения размерности признакового пространства. Одним из основных методов решения данной проблемы является преобразование главных компонент. В последнее время для понижения размерности пространства признаков применяются самообучающиеся нейронные сети – автокодировщики, которые фактически реализуют нелинейную модификацию этого подхода.

Данная работа посвящена решению актуальной задачи распознавания рукописных цифр на основе нейронной сети, построенной на каскаде автокодировщиков. Приведем более подробное описание структуры автокодировщика.

Принцип работы автокодировщика

Автокодировщиком называется специализированная архитектура искусственных нейронных сетей, позволяющая применять обучение без учителя при использовании метода обратного распространения ошибки [2]. В парадигме автокодировщиков следует явно задать функцию для извлечения признаков в специфической параметрической форме. Эта, в общем случае, нелинейная функция, обозначаемая f_θ , называется кодировщиком и осуществляет прямое вычисление признака $h = f_\theta(x)$ для входа x . Пусть определен вектор входных значений $x(t)$ из набора данных $\{x(1), \dots, x(T)\}$, когда кодировщик вычисляет $h(t) = f_\theta(x(t))$, где $h(t)$ – вектор признаков или кодовое представление данных, полученное для входного вектора $x(t)$.

Другая параметрическая функция $g_\theta(x)$, называемая декодером, связывает пространство признаков обратно с входным пространством, производя оценку

$r = g_\theta(h)$. В то время как вероятностные модели сетей определяются в виде явной функции вероятности и обучаются строить максимально правдоподобное представление данных, автокодировщики формализуются через кодер и декодер и обучаются, используя иные принципы. Набор параметров θ кодировщика и декодера вычисляется одновременно, решая задачу реконструкции оригинального вектора входа с наилучшей точностью, т.е. пытаясь внести наименее возможную ошибку реконструкции $L(x, r)$ – невязки между входным вектором x и его реконструкцией r . Ошибку реконструкции можно определить в виде $L(x, r) = \|x - r\|^2$, если значения лежат в диапазоне от 0 до 1, то может использоваться перекрёстная энтропия [3]:

$$L(x, r) = -[x \log r + (1 - x) \log(1 - r)]. \quad (1)$$

Хорошее обобщение будет достигаться при низкой ошибки реконструкции на тестовой выборке, в то же время может наблюдаться большая ошибка реконструкции для других входных конфигураций. Обучение автокодировщика заключается в нахождении такого значения вектора параметров θ , который минимизирует функционал вида:

$$J_{AE}(\theta) = \sum_t L(x(t), g_\theta(f_\theta x(t))), \quad (2)$$

Для минимизации (3) часто используется метод стохастического градиентного спуска. Известны различные модификации данной сети, которые имеют свои преимущества и недостатки. В данной работе для распознавания рукописных цифр в качестве модели нейронной сети был выбран разреженный автокодировщик. Сети подобного типа могут быть полезны для сокращения числа малозначимых деталей изображений цифр. Использование классических автокодировщиков нежелательно при большом числе нейронов, а их уровень абстракции в представлении информации, как правило, ниже. Следует отметить, что более абстрактные представления обычно инвариантны к большему числу локальных изменений на входе, что полезно на практике.

При построении модели разреженного автокодировщика в функционал вида (2) добавляется дополнительный штрафной член, назначение которого состоит в том, чтобы часть нейронов были почти неактивные, т.е. их выход был близок к нулю. Это необходимо для предотвращения запоминания сетью входных данных при недостаточном объеме выборки и большой размерности скрытого слоя. Математически задача сводится к минимизации следующего функционала потерь $J_{sp}(\theta)$:

$$J_{sp}(\theta) = J_{AE}(\theta) + \beta \cdot \sum_j KL(\rho \parallel \hat{\rho}_j), \quad (3)$$

где β – вес штрафного члена;

$\hat{\rho}_j$ – средний уровень активации j -го нейрона по всей обучающей выборке;

KL – расстояние Кульбака-Лейблера между заданным значением ρ и средним уровнем активации нейрона $\hat{\rho}_j$.

Параметр ρ , определяющий степень разреженности, обычно достаточно малая величина, близкая к нулю.

Архитектура нейронной сети на основе каскада автокодировщиков

В данном разделе описывается архитектура нейронной сети, которая применяется для распознавания рукописных цифр. Для конкретного примера было предложено обучить два разреженных автокодировщика, объединенных в каскад для классификации изображений рукописных цифр базы данных MNIST. Данная база является стандартом, который предло-

жил Национальный институт стандартов и технологий США, она получила широкое распространение при тестировании алгоритмов машинного обучения на основе нейронных сетей. Каскад может содержать больше двух автокодировщиков, однако в данной работе ограничимся этим.

Известно, что метод обратного распространения ошибки может плохо работать для многослойных сетей, так как сигнал коррекции затухает по мере прохода от конца сети к началу, в результате чего эффективно могут обучаться только последние слои сети. Поэтому будем применять “жадный” алгоритм послойного обучения, который сводится к предварительному обучению каждого слоя сети отдельно с последующей настройкой всей сети целиком. Для того чтобы добиться лучших результатов, после завершения этапа предобучения производят тонкую настройку уже обученной сети методом обратного распространения ошибки. Автокодировщики обучаются без учителя, и задача состоит в повторении выхода и входа. Таким образом, дополнительный слой декодера подключается к каждому новому необученному слою кодировщика на время обучения, дополняя сеть до архитектуры автокодировщика, затем набор данных для обучения подается на вход сети [4].

На вход первого автокодировщика подаются тестовые изображения, в нашем случае из базы данных MNIST, что требует $28 \times 28 = 784$ входных нейронов. Число нейронов кодировщика будет определять размерность выхода. Веса необученного слоя и дополнительного слоя автокодировщика обучаются при помощи метода обратного распространения ошибки. Затем слой декодировщика отключается и создается новый, соответствующий следующему необученному слою сети.

На вход нового слоя сети подается набор признаков, полученных на выходе предыдущего слоя, и процедура обучения повторяется для всего набора данных. Объединяя несколько автокодировщиков в каскад, можно получить релевантное признаковое описание изображений.

На основе сформированного признакового описания требуется присвоить цифрам метки соответствующих классов, для чего используется выходной softmax-слой. Модель слоя построена на основе расширения логистической регрессии на многомерный случай и достаточно широко используется в задачах распознавания, когда необходимо оценить вероятность принадлежности входного изображения одному из непересекающихся классов. В нашем случае размерность выходного слоя равна 10, а выходные значения следует рассматривать как степень уверенности нейронной сети при отнесении входных изображений к классам цифр.

Архитектура сети, спроектированная для решения задачи распознавания рукописных цифр, создается путем объединения всех трех рассмотренных ранее слоев вместе таким образом, чтобы сформировать каскад из двух автокодировщиков и выходного softmax-слоя. Архитектура этой нейронной сети представлена на рисунке 1.

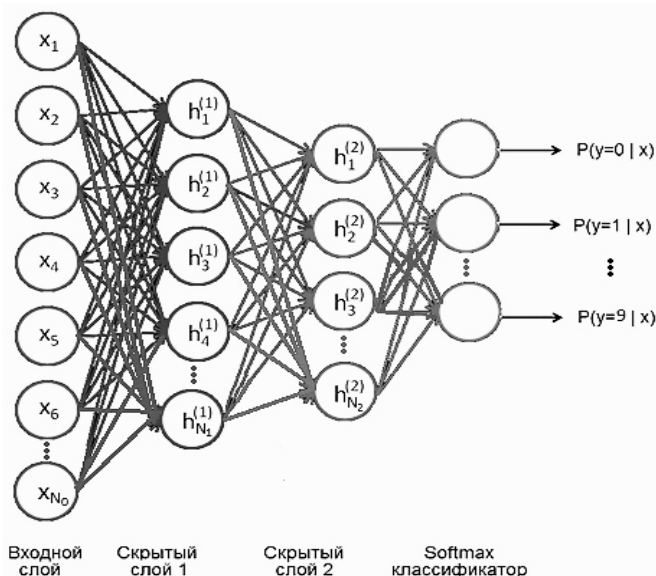


Рис. 1. Графическое представление архитектуры построенной нейронной сети

Реализация нейронной сети на основе каскада разреженных автокодировщиков

Для проведения исследований сеть на основе каскада разреженных автокодировщиков была реализована на языке высокого уровня. Разработка модели выполнена в среде программирования MATLAB. Для исследований была использована база данных MNIST [5]. Она находит широкое применение для оценки эффективности работы алгоритмов распознавания и их сравнения. База данных насчитывает 70 000 изображений рукописных цифр от 0 до 9. Примеры таких изображений проиллюстрированы на рисунке 2.

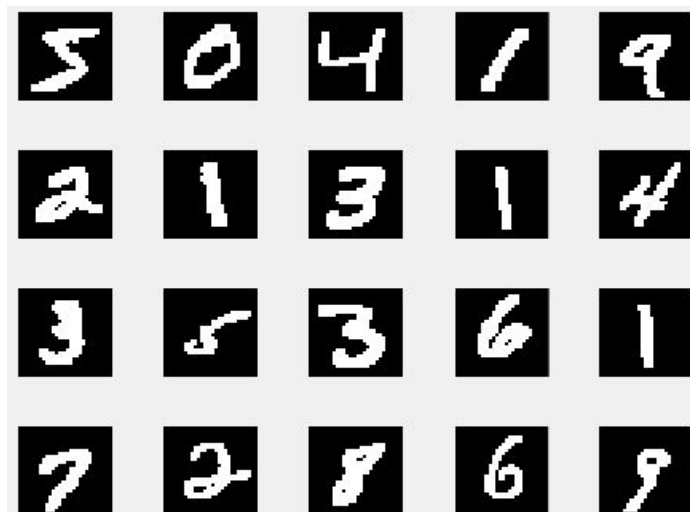


Рис. 2. Примеры изображений рукописных цифр из базы данных MNIST

Первые 60 000 изображений составляют обучающую выборку, тестовая выборка содержит 10 000 изображений цифр. Изображения имеют размерность 28×28 пикселей и представлены в формате 8-битных целых чисел. Для корректной работы сети изображения приводились к диапазону значений от 0 до 1, путем деления каждого элемента на 255. В ходе эксперимента происходило обучение модели на выбранном наборе данных из 60000 тренировочных примеров. Затем на основе имеющейся априорной информации о классе цифры и результатах измерения с помощью исследуемого алгоритма вычисляется матрица ошибок, которая содержит частоты правильной классификации рукописных цифр.

Для проведения компьютерного моделирования была реализована программа на языке высокого уровня, которая оценивала частоту правильной классификации рукописных цифр на 10 000 тестовых примерах. В процессе проведения исследований перебирались несколько размеров скрытых слоев сети из заданного диапазона. Была достигнута частота правильного распознавания 98,5% при следующем числе нейронов и параметре разреженности в скрытых слоях соответственно (для первого слоя $N_1=200$, $\rho_1=0,004$; для второго слоя $N_2=100$, $\rho_2=0,002$), что является весьма неплохим результатом, и превышает показатели, достигаемые при использовании многих классических методов распознавания. Дополнительно набор входных изображений искажался путем добавления артефактов, затрудняющих различение цифр. При этом эффективность решения задачи на искаженных изображениях достигала 96,1% для тех же параметрах скрытых слоев сети.

Предполагается, что дальнейшее увеличение эффективности распознавания может быть достигнуто при добавлении дополнительного сверточного слоя, применения вариационных автокодировщиков или более глубоких каскадов.

Библиографический список

1. Исафилов Х.С. Применение нейронных сетей в распознавании рукописного текста // Молодой ученый. – 2016. - №29. – С. 75-78.
2. Liou C. Y. et al. Autoencoder for words // Neurocomputing. – 2014. – Т. 139. – С. 84-96.
3. Bengio Y., Courville A., Vincent P. Representation learning: A review and new perspectives // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2013. – Т. 35. – №. 8. – С. 1798-1828.
4. Hinton G.E., Salakhutdinov R.R. Reducing the dimensionality of data with neural networks // Science. – 2006. – Т. 313. – №. 5786. – С. 504-507.
5. GitHub:[Электронный ресурс].–Режим доступа://github.com/csuldw/MachineLearning/master/dataset/ MNIST (дата обращения: 12.10.2017)

УДК 004.932

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ, РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ И СЛОЖНЫХ УСЛОВИЙ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ АНАЛИЗА БИНАРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

П. А. Макаркин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, mackarckinpawel@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе рассмотрен алгоритм обнаружения воздушных объектов использующий, анализ битовой плоскости при помощи блобов. Перед анализом бинарного изображения, кадр предварительно подвергается различным преобразованиям: низкочастотной фильтрации и повышение резкости.

Ключевые слова. Автоматическое обнаружение ,блоб, параметры блоба

METHOD OF AUTOMATIC DETECTION, RECOGNITION OF AIR OBJECTS IN CONDITIONS OF INTERFERENCE AND COMPLEX CONDITIONS OF OBSERVATION BY ANALYSIS OF BINARY IMAGE

P. A. Makarkin

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, mackarckinpawel@yandex.ru*

Abstract. In this paper we consider an algorithm for detecting air objects using, analyzing the bit plane using blobs. Before analyzing a binary image, the frame is preliminarily subjected to various transformations: low-pass filtering and sharpening.

Keywords. Automatic detection, blob, blob parameters

Введение

С появлением быстродействующих вычислительных машин резко возросли возможности реализации сложных алгоритмов цифровой обработки изображений, а переход от оптико-электронных преобразователей (ОЭП) к матричным фотоприемным устройствам (МФПУ) позволил повысить разрешение оптических систем. Как правило, оптические системы, предназначенные для обнаружения воздушных целей, работают в нескольких спектральных диапазонах, основным из которых является инфракрасный (ИК).

Если характерные признаки цели известны заранее, можно выбрать алгоритм обнаружения, использующий эталонную обработку [1, 2], но если характер наблюдаемого объекта неизвестен, что, как правило, и происходит на практике, выбор алгоритма является сложной задачей [3, 5, 6].

Типовая структурная схема устройства автоматического обнаружения и распознавания воздушных объектов приведена на рисунке 1.

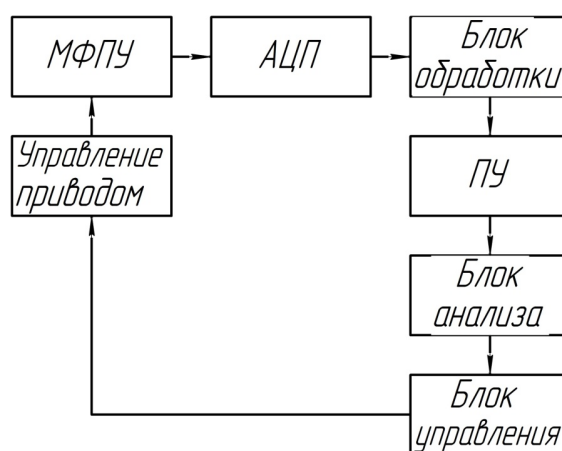


Рис. 1. Структурная схема устройства автоматического обнаружения и распознавания воздушных объектов

В большинстве систем автоматического обнаружения и распознавания воздушных объектов МФПУ устанавливается на подвижной платформе, в том числе, гиросtabilизированной, что позволяет стабилизировать изображение, а также управлять направлением наблюдения. Система, приведённая на рис. 1, представляет собой следящую систему с замкнутым контуром управления, в котором команды смену направления наблюдения вырабатывает блок управления по результатам анализа изображения, формируемого МФПУ в реальном времени.

Начальным этапом обработки получаемого МФПУ изображения является его аналого-цифровое преобразование, после чего следует операция пространственно – временной фильтрации. Перед пороговым устройством выполняется дифференцирование изображения, в результате которого выделяются контура объектов. Задача дифференцирования решается применением дифференцирующего фильтра с определенной маской [1]. Следующим этапом является анализ блоков по ряду параметров: площади объекта, геометрическим размерам, координатам центров и эксцентриситет.

Принятие решения об отнесении объекта к цели или к помехе можно выполнить как путем обучения нейронной сети [6], так и с помощью логических операций. В случае, когда обучение невозможно, применяется второй подход.

Постановка задачи

Рассмотрим следующую постановку задачи выделения, обнаружения и измерения параметров объекта. Пусть матричный фотоприемник формирует последовательность изображений (кадров) с частотой F_d и периодом повторения $T_d = 1/F_d$. Каждый кадр с номером n описывается некоторой функцией яркости пикселей $f(i, j, n)$, где i, j — координаты пикселей. Применив центральную предельную теорему, будем считать внутренние шумы системы гауссовскими, поскольку таких источников много и они независимы друг от друга [3]. С учетом сделанного допущения, наблюдаемый процесс можно записать в следующем виде:

$$f(i, j, n) = (r(i, j, n)h(i, j, n) + g(i, j, n)(1 - r(i, j, n))) \cdot \psi(i, j, n) + \xi(i, j, n), \quad (1)$$

где $f(i, j, n)$ — наблюдаемое изображение;
 $\psi(i, j, n)$ — внутренние шумы с нулевым средним;
 $\xi(i, j, n)$ — внешние шумы;
 $h(i, j, n)$ и $g(i, j, n)$ — неизвестные яркости точек фона и объектов;
 $r(i, j, n)$ — функция определяющая расположение объектов:

$$r(i, j, n) = \begin{cases} 1, & \text{если в данной точке расположен объект} \\ 0, & \text{если это фон} \end{cases}, \quad (2)$$

Решение поставленной задачи

Задача обнаружения объекта состоит в анализе битовой маски $r(i, j, n)$, накладываемой на наблюдаемое изображение $f(i, j, n)$, по параметрам указанным выше. Приведем выражения, описывающие вычисления параметров блоков. В общем случае формируется следующий набор векторов параметров [6]:

координаты центра блока

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j, \quad (3)$$

максимальная длина объекта в блоке

$$I_{\max} = \frac{1}{2}(I_{xx} + I_{yy}) + \frac{1}{2}\sqrt{(I_{xx} - I_{yy})^2 + 4I_{xy}^2}, \text{ если } I_{xx} = \sum_{i=1}^N (y_j - \bar{y})^2, \quad (4)$$

$$I_{xy} = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_j - \bar{y}),$$

$$I_{yy} = \sum_{i=1}^N (y_j - \bar{y})^2$$

минимальная длина объекта в блоке

$$I_{\min} = \frac{1}{2}(I_{xx} + I_{yy}) - \frac{1}{2}\sqrt{(I_{xx} - I_{yy})^2 + 4I_{xy}^2}, \text{ если } I_{yy} = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2. \quad (5)$$

Эксцентриситет это характеристика «вытянутости» эллипса, которым аппроксимируется отрезок от обнаруживаемого объекта

$$e = \sqrt{1 - \frac{I_{\min}}{I_{\max}}} . \quad (6)$$

Для успешного решения задачи обнаружения объекта необходимо знать функции яркости цели и фона, а также распределения шума. Необходимо также принимать во внимание геометрические преобразования изображений объекта и фона в результате изменения направления наблюдения МФПУ.

Если объект наблюдается в дальней зоне на равномерном фоне, то яркости объекта и фона в кадре можно считать случайными величинами с неизвестными плотностями распределения.

Порог обнаружения должен выбираться исходя из фоноцелевой обстановки. Его вычисление должно происходить после дифференцирующего фильтра.

На рисунке 2 представлен результат пространственной обработки дифференцирующим фильтром объекта, имеющего положительный контраст и размытого искажениями, присущими оптическим системам, а также в результате воздействия шумов. На рисунке отчетливо видно, как после фильтрации появляется резкий отрицательный пик.

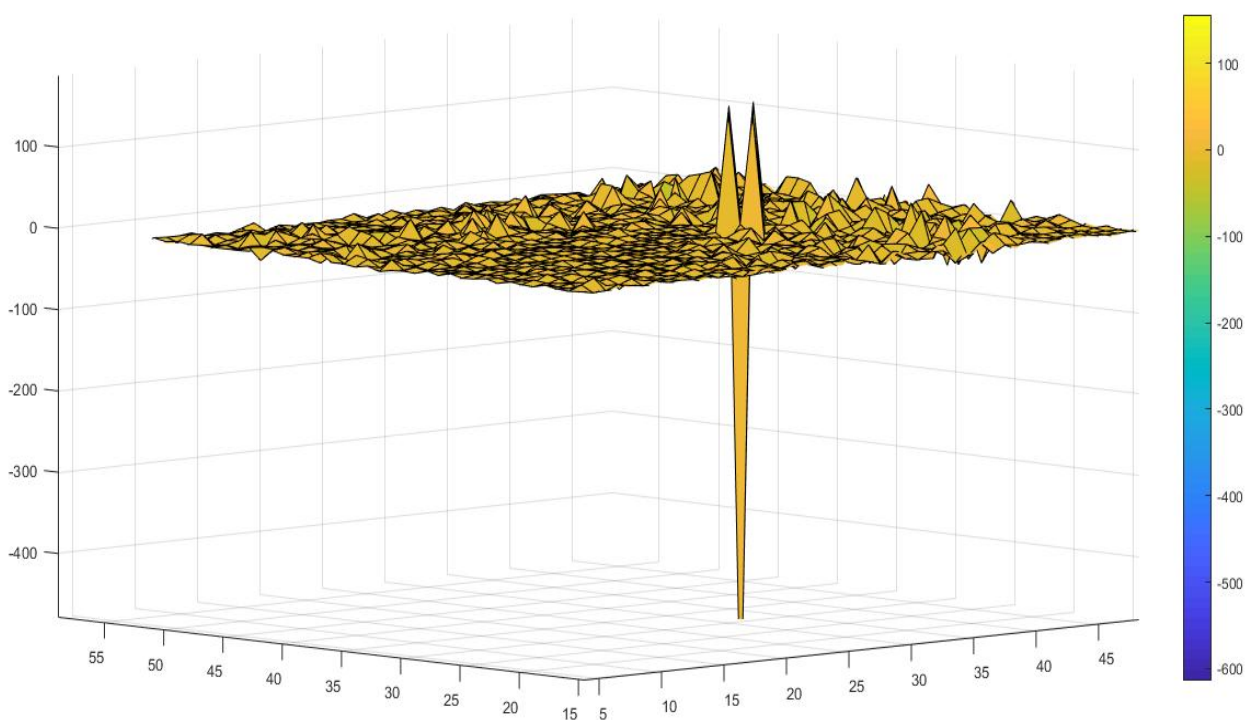


Рис. 2. Изображение после дифференцирования

Поскольку блобы формируются в результате сравнения дифференцированного изображения с порогом, выбор значения порога очень важен.

Как видно из рисунка 2, для сравнения можно использовать как положительные, так и отрицательные уровни яркости дифференцированного изображения. Это справедливо только для высокого ОСШ. При его уменьшении первые боковые лепестки лапласиана упадут ниже уровня выбросов продифференцированного шума.

Выберем в качестве порога среднее значения выражения, записывающегося следующим образом:

$$q_{\text{пор}} = \frac{\max |f(i, j, n) - \bar{m}|}{\bar{\delta}}, \quad (7)$$

где $\bar{m}$ — среднее значение яркости, $\bar{\delta}$ — средне квадратичное отклонение (СКО).

Экспериментальная часть

Сформируем изображение реального объекта на реальном фоне, которое в дальнейшем и будем исследовать. Для этого наложим полученные экспериментально изображения типового фона и воздушного объекта (самолета) и добавим к результату наложения белый гауссовский шум (БГШ) с различной дисперсией.

На полученном изображении будем исследовать фрагмент размером 128×128 пикселей.

Оценка блоков при нахождении цели в дальней зоне, когда она ещё позволяет определить пороги для обнаружения цели. Для их определения необходимо снять четыре зависимости:

- числа пикселей в блоке от дальности до цели;
- величины эксцентриситет от дальности до цели;
- максимальный размер блока по оси X от дальности до цели;
- минимальный размер блока по оси Y от дальности до цели.

Типовые зависимости характеристик, приведённых выше, изображены на рис. 3.

Решения о классификации блока как воздушного объекта принимается путём анализа совокупности условий.

В качестве начального порога необходимо измерить параметры исследуемого объекта в дальней зоне, когда его еще можно считать точечной целью.

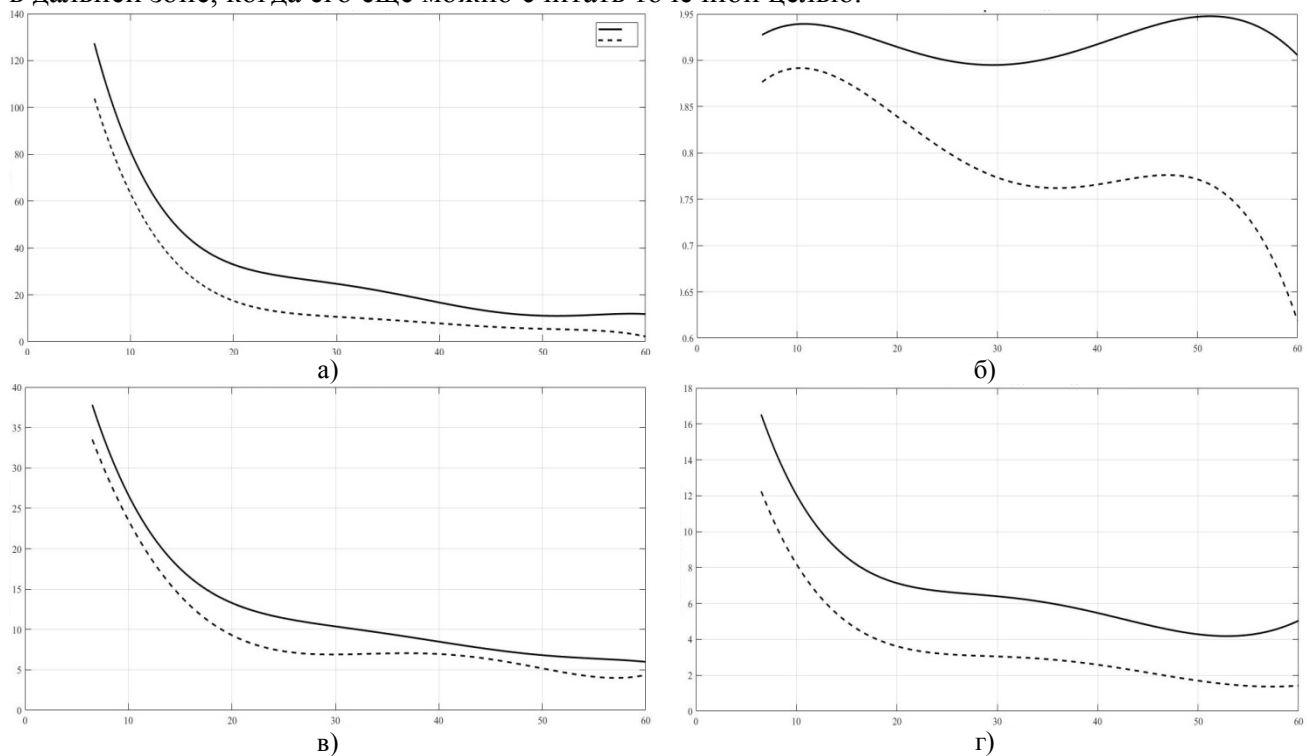


Рис. 3. Характеристики блоков от дальности
 а — число пикселей в блоке, б — эксцентриситет
 в — максимальный размер блока, г — минимальный размер блока

Блоб классифицируется как цель, если все четыре параметра из приведённых выше превышают пороговый уровень. Данное условие можно записать выражением:

$$H = I_{\max} \& I_{\min} \& E \& S, \quad (8)$$

где H — логический вектор обнаружения, если элемент равен единице это цель;
 $I_{\max}$ и $I_{\min}$ — вектор максимальной и минимальной длины;
 E экстремитет и S — количество пикселей.

Выводы

В результате моделирования описанный метод показал высокую эффективность предложенного подхода. Отказ от использования нейронной сети позволяет снизить вычислительные затраты.

Библиографический список

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. — 176с.
2. Алпатов Б. А., Блохин А. Н., Муравьев В. С. Алгоритм обработки изображений для систем автоматического сопровождения воздушных объектов // Цифровая Обработка Сигналов. — 2010. — № 4. — С. 12 – 17.
3. Бабаян П. В., Смирнов С. А. Слежение за объектом на основе алгоритма сопоставления с эталоном при одновременном наблюдении в видимом и инфракрасном диапазонах // Цифровая Обработка Сигналов. — 2010. — № 4. — С. 18 – 21.
4. Бабаян П. В., Фельдман А. Б. Обнаружение и оценка параметров воздушных объектов в видеопоследовательности на основе кратномасштабной пространственной обработки // Цифровая Обработка Сигналов. — 2010. — № 4. — С. 7 – 11.
5. Корепанов С. Е., Стротов В. В. Алгоритм слежения за движущимися объектами в бортовых видеоинформационных системах // Цифровая Обработка Сигналов. — 2011. — № 3. — С. 21 – 23.
6. Infrared Target-Flare Discrimination using a ZISC Hardware Neural Network. 2010.

УДК: 519.7; ГРНТИ 20.51.19

ВЫДЕЛЕНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ГРАНИЦ НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАДОНА

А.П. Масякин, Н.Ю. Шубин

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Россия, Рязань, cachico@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе описан алгоритм реализации выделения прямолинейных границ с помощью преобразования Радона. Разработан алгоритм и программный код, написанный на языке программирования Matlab. Проведены экспериментальные исследования.
Ключевые слова. Преобразование Радона, выделение прямолинейных границ.

DETECTION OF RECTILINEAR LINES BASED ON RADON'S TRANSFORMATION

A.P. Masyakin, N.Yu. Shubin

*Ryazan State Radio Engineering University
Russia, Ryazan, cachico@yandex.ru*

Abstract. This paper deals with the detection of rectilinear lines. The algorithm and program code written in Matlab programming language are developed. Experimental studies have been carried out.
Keywords. Radon's transformation, detection of rectilinear lines.

Введение

В последние годы все большее внимание специалистов привлекают вопросы применения обработки и анализа изображений для решения различных задач [1]. Одной из таковых является поиск прямолинейных границ на изображении. Поставленный вопрос может решаться с помощью алгоритма преобразования Радона (ПР). ПР было введено И. Радона в статье, опубликованной в 1917 году. Оно сопоставляет функции на плоскости и функцию на множестве всех прямых, задаваемую интегралами вдоль прямых. Преобразование Радона нашло применение в рентгеновской диагностике [2], точнее в ее области — вычислительной томографии, а также в геофизике и радиоастрономии. Так как распознавание прямолинейных границ на изображении с помощью преобразования Радона, полностью основывается на поиске локальных максимумов данного преобразования, то этому этапу стоит уделить особое внимание. Одна прямая на изображении может породить несколько близко расположенных пиков на преобразовании радона. Поэтому простой поиск локальных максимумов даёт неудовлетворительный результат.

Описание преобразования Радона и его применение в условиях обработки изображений

Преобразование Радона - интегральное преобразование функции многих переменных, родственное преобразованию Фурье. Важнейшее свойство преобразования Радона - обратимость, то есть возможность восстанавливать исходную функцию по её преобразованию Радона. Широчайшая область применения преобразования Радона и различных его модификаций – цифровая обработка изображений, а именно определение параметров различных кривых и их идентификация, будь то простейшая прямая линия, рукописный шрифт или фотография лица человека.

Этапы обработки изображения для поиска прямолинейных границ с помощью преобразования Радона:

- 1) Первым этапом является обесцвечивание исходного изображения;
- 2) выделение границ на изображении;
- 3) к полученному изображению применяется преобразование Радона;
- 4) поиск локальных максимумов;
- 5) выделение прямых по полученным данным.

Описание модифицированного алгоритма преобразования Радона

Решение проблемы обнаружения «ложных» прямолинейных границ на изображении прежде всего требует исключение «двойных» локальных максимумов на преобразовании Радона. Для решения этой трудности применяется фильтр Гаусса с переменными параметром его величины размытия, который подбирается для каждого изображения.

В виду цикличности преобразования радона (ПР) точки с координатами (s, α) и $(-s, \alpha \pm \pi)$ указывают на одну и ту же прямую на изображении (формула (1.1)).

$$R(s, \alpha) = R(-s, \alpha \pm \pi) \quad (1.1)$$

Геометрический смысл уравнения изображен на рисунке 1.

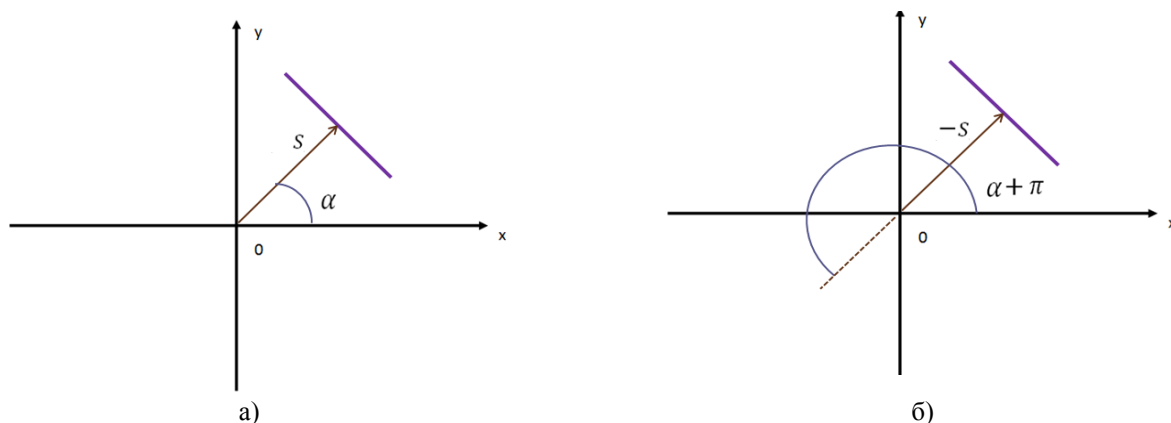


Рис. 1. Геометрический смысл уравнения:

- а) – прямая с координатами (s, α) ;
 б) – прямая с координатами $(-s, \alpha \pm \pi)$

Таким образом, в случае нахождения ЛМ близко к границе ПР рассматриваемую окрестность нужно расширить согласно формуле (1.1), иллюстрация на рисунке 2.

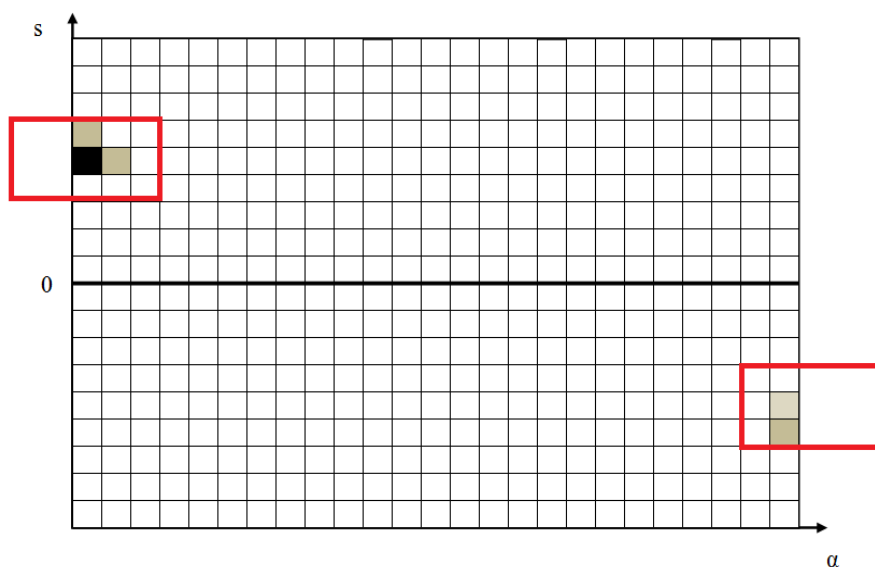


Рис. 2. Пример с расширенной окрестностью

Для того чтобы избежать дублирования локальных максимумов, после «расширения» матрицы изображения преобразования Радона и выделения ЛМ происходит возврат к исходным размерам матрицы, что способствует отсечению «максимумов-дубликатов».

Работа алгоритма, описанного выше, была проверена на девяти изображениях. Проведено сравнение с обычным алгоритмом выделения границ на изображении с помощью преобразования Радона, без модификации этапа поиска локальных максимумов. Оценка работы алгоритмов определяется следующим образом – количество верно проведенных линий. Качество работы определяется процентом верно обнаруженных прямых на нескольких изображениях. Верность выделенных прямых оценивается сравнением с эталонным изображением, на котором все прямые выделены вручную.

Число искомых границ для всех изображений равно 20-ти.

Представим один из примеров работы алгоритма.

На рисунке 3 показано тестовое изображение.



Рис. 3. Тестовое изображение

На рисунке 4 изображены выделенные границы тестового изображения.

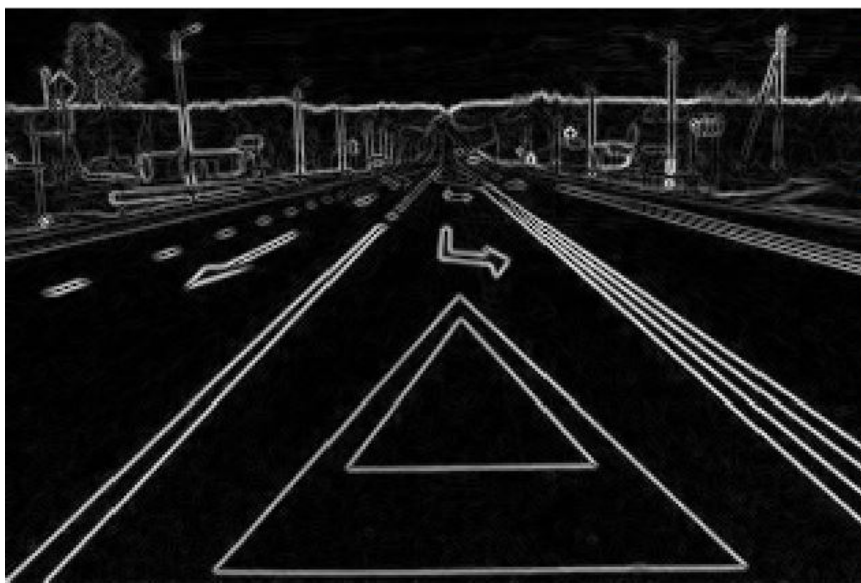


Рис. 4. Выделенные границы тестового изображение 1

На рисунке 5 изображено сравнение результатов обычного и разработанного алгоритма соответственно.

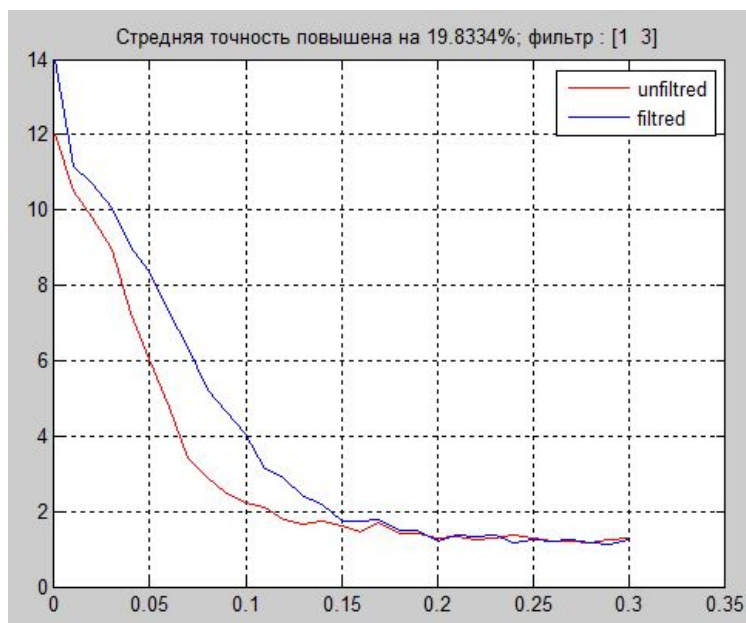


Рис. 5. Сравнение обычного и модифицированного алгоритма

Ниже представлена таблица 1 с результатами для девяти изображений.

Таблица 1. Результаты сравнения разработанного алгоритма и преобразования Радона

Номер изображения	Величина наилучшей маски фильтра	Процент повышения точности выделения границ
1	[1x3]	3.67%
2	[1x3]	19.83%
3	[1x7]	0.22%
4	[3x3]	13.68%
5	[11x1]	54.02%
6	[3x1]	11.93%
7	[7x1]	18.56%
8	[1x3]	30.26%
9	[1x3]	10.28%

Вывод

Результаты экспериментальных исследований показали, что предложенный способ дает общий прирост качества выделения границ составляет порядка 18%.

Библиографический список

1. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений в управлении. / Алпатов Б.А [и др.]; под ред. Б.А. Алпатова, стереотип. - М.: Радиотехника, 2011. – 1с.
2. И.С. Грузман. Соросовский образовательный журнал / И.С.Грузман // Математические задачи компьютерной томографии.- 2001.- том 7.- №5.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ СТЕРЕОЗРЕНИЯ

М. Князев, А.Б. Фельдман

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, г. Рязань, aitu@rsreu.ru

Аннотация. В данной работе описано решение задачи обнаружения препятствий на пути движения мобильного робота с использованием двух синхронизированных между собой видеокамер, представляющих собой стереопару.

Ключевые слова. Стереокамера, обнаружение препятствий, мобильный робот

MOBILE ROBOT OBSTACLE DETECTION USING STEREOVISION

M. Knyazev, A.B. Feldman

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, aitu@rsreu.ru

Abstract. This article deals with the problem of mobile robot obstacle detection using two synchronized video sensor. Calibration, geometric transformations of images and obstacle map construction are described.

Keywords. Stereo camera, obstacle detection, geometric transformations

Технологии обработки изображений широко используются в современных системах управления техническими объектами и в робототехнике [1]. В докладе рассматривается проблема установления геометрического соответствия между изображениями, формируемыми каждой из камер, составляющих стереопару, а также восстановления на этой основе трехмерной геометрии наблюдаемой сцены [2].

Эту задачу можно разделить на несколько частей:

- Калибровка камер.
- Геометрические преобразования изображений.
- Построение карты глубины.
- Нахождение препятствий, построение карты и её фильтрация.
- Построение полной карты препятствий.

Первое, что должно быть сделано перед работой со стереопарой – это калибровка. Она производится с помощью калибровочного объекта, которым в данном случае является шахматная доска. Стоит отметить, что шахматная доска должна быть обязательно прямоугольной формы.

Произведя съёмку калибровочного объекта под разными углами по отношению к камерам, выделяем пары изображений (рис. 1), на основе которых получим калибровочные матрицы к каждой из камер, расположение их в пространстве, а также ряд других параметров.

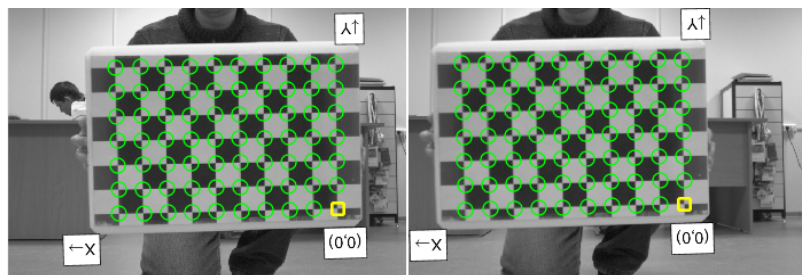


Рис.1. Пара изображений с калибровочным объектом

После выполнения калибровки, можем приступить к этапу геометрических преобразований изображений. Выполним ректификацию пары изображений, полученных с каждой

из камер. Получив выравненные изображения, можем построить карту глубины. Для каждой точки на первом изображении необходимо найти пару на другом. Далее для каждой из пар выполняется триангуляция, из которой получаем расстояние до плоскости камеры [3]. Выполнив подобные действия для каждой пары точек, получим искомую карту глубины (рис.2).

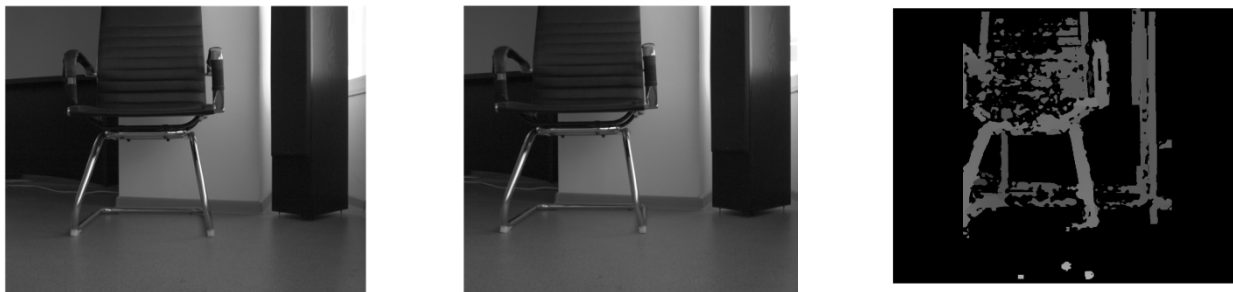


Рис.2. Пара ректифицированных изображений и карта глубины

Имея карту глубины, избавленные от искажений изображения и калибровочные матрицы мы можем восстановить 3D сцену, наблюдаемую в текущем кадре (рис. 3). Подобная сцена – это облако точек, на основе которого и будет построена карта препятствий.

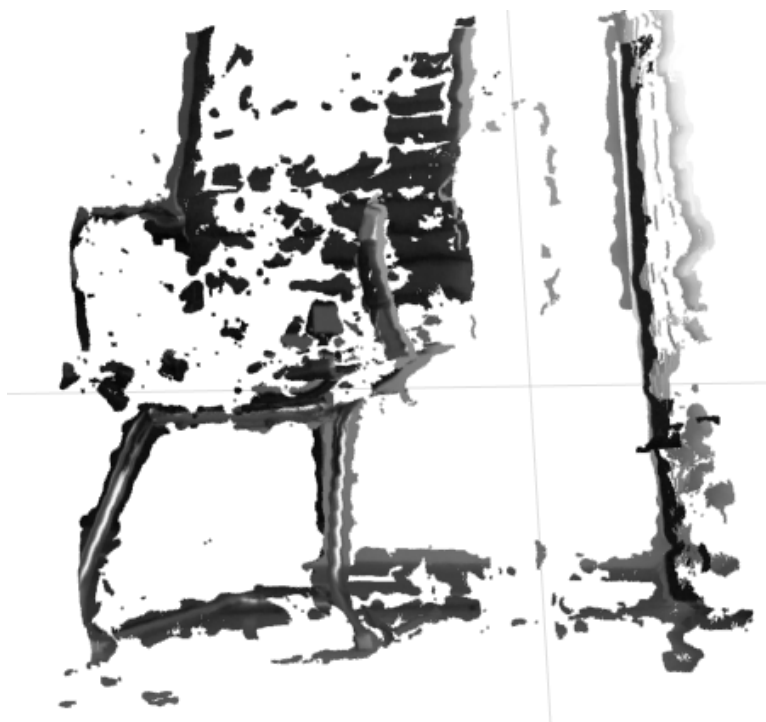


Рис.3. Восстановленная 3D-сцена

Восстановленная сцена выглядит не самым лучшим образом, но она позволяет достаточно хорошо судить о наличии или отсутствии препятствий.

Следующим шагом будет построение промежуточной карты препятствий, наблюдаемых в текущем кадре. Для этого берется полученное на предыдущем шаге трехмерное облако точек с координатами XYZ, где X обозначает ширину, Y - высоту, а Z - дальность. Производится проецирование этих точек на плоскость XOZ.

Получаемая карта имеет большую долю ошибок, но препятствие можно разглядеть – оно выглядит как самое плотное скопление точек. Для того, чтобы исправить ситуацию, применим морфологическую фильтрацию [4]. Результат морфологической фильтрации кар-

ты показан на рис. 4. После этого препятствие видно довольно чётко, ошибки практически отсутствуют. Для удобства отмечен угол обзора.

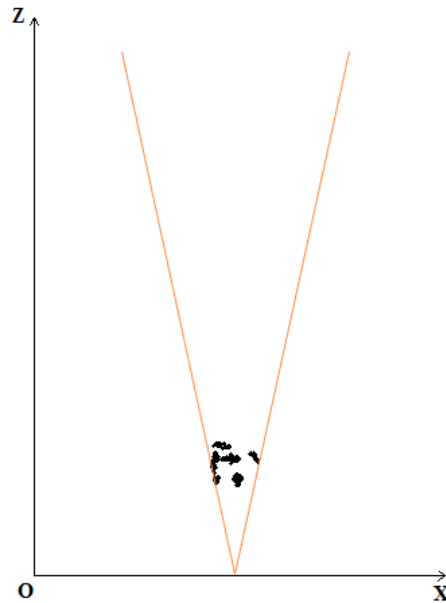


Рис.4. Карта препятствий после морфологической обработки

После выполнения указанных этапов в каждом из кадров идет объединение промежуточных карт препятствий в одну. Получается карта, которая содержит все препятствия, встреченные на пути мобильного робота (рис. 5).

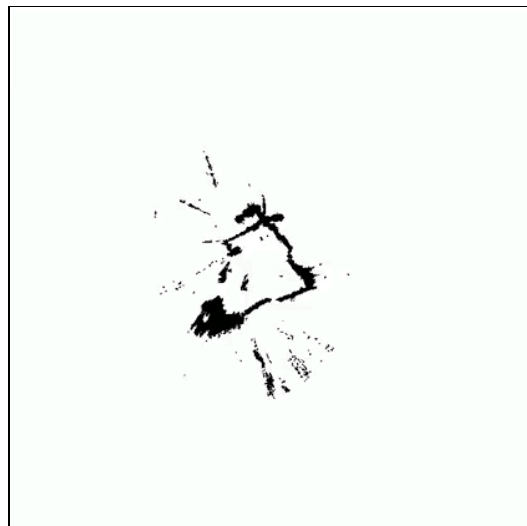


Рис.5. Полная карта препятствий

Работа выполнена при с использованием средств Гранта для поддержки ведущих научных школ РФ (НШ-7116.2016.8).

Библиографический список

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.: ил.
2. Князев М.Н. Решение задачи обнаружения препятствий с использованием пары синхронизированных камер // Новые информационные технологии в научных исследованиях: Материалы XXII Всеросс. науч.-техн. конф. студ., молодых ученых и специалистов. – Рязань, 2017. – С.210-212.
3. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений – М.: 2012. - 1104 с.

УДК 535.3

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОВОГО
САМОВОЗДЕЙСТВИЯ И АДАПТИВНАЯ КОРРЕКЦИЯ
НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ****И.Д. Веретехин¹, Ф.Ю. Канев²**¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, Томск, aswer95@unbox.ru*²*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,
Россия, Томск,***FEATURES OF DISTRIBUTION MULTICHANNEL
LASER RADIATION IN THE CONDITIONS OF THERMAL
SELF-INFLUENCES AND ADAPTIVE CORRECTION
NONLINEAR DISTORTIONS****I.D. Veretekhin¹, F.Yu. Kanev²**¹*National Research Tomsk State University,
Russia, Tomsk, aswer95@unbox.ru*²*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics,
Siberian Branch of the Russian Academy of Science,
Russia, Tomsk*

Abstract Results of numerical modeling of distribution of multichannel coherent radiation which distortions are caused by stationary thermal self-influence are presented in article. The correction of distortions executed on the basis of phase and amplitude-phase management of the wave front is also considered. The provided data show dependence of effective management of a bunch on number of channels of optical system and accuracy of restoration of a phase of basic radiation. Additional improvement of quality of correction is possible upon transition from purely phase management, to the amplitude-phase, i.e. at regulation of strengthening in each of channels.

Keywords. Adaptive optics, thermal self-influence, multichannel radiation, phase interface, the amplitude-phase management of radiation.

Введение

В настоящее время передача энергии лазерным излучением часто реализуется с использованием многоканальных лазерных систем, в которых на объекте фокусировки выполняется когерентное сложение отдельных пучков [1-5]. Каждый из каналов такой системы включает усилители и оптические элементы, вносящие дополнительный (относительно других пучков) фазовый сдвиг. Указанное изменение фазы может быть получено в электрооптических ячейках [3, 4], нелинейных и пьезоэлектрических элементах [1, 2] или с использованием других приборов.

Влияние тепловых искажений на качество многоканального излучения и возможность повышения плотности мощности на объекте за счет фокусировки рассмотрено авторами

публикаций. Исследование проводилось численными методами. В приведенных здесь статьях показано, что развитие самовоздействия в многоканальной системе ограничивает мощность переносимую пучком в атмосфере. Адаптивное управление волновым фронтом авторами не рассматривалось.

Анализ литературных источников показывает что, несмотря на достигнутый прогресс в данной области, нерешенным остается ряд практически важных проблем. В частности, недостаточно исследованной является проблема адаптивной компенсации тепловых искажений на протяженных атмосферных трассах, интерес представляет также изучение возможности применения для коррекции обусловленных самовоздействием искажений методов амплитудно-фазового управления.

Многоканальная лазерная система

Схематичное изображение типовой многоканальной оптической системы [1, 3, 6] приводится на рисунке 1. Обратная связь в данной схеме замыкается опорным излучением, радиус которого выбирается большим или равным, радиусу излучающей апертуры. Результаты, представленные в статье, были получены при моделировании приведенной системы. Адаптивная коррекция осуществлялась за счет введения фазовой модуляции в каналах (фазовое управление) и при управлении усилением пучков (амплитудно-фазовое управление).

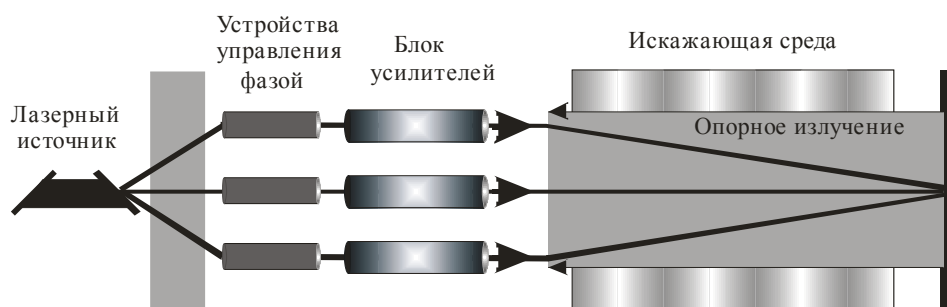


Рис. 1. Схематическое изображение многоканальной оптической системы

Распространение излучения в нелинейной среде описывалось уравнением квазиоптики:

$$2ik \frac{\partial E}{\partial z} = \Delta_{\perp} E + \frac{2k^2}{n_0} \frac{\partial n}{\partial T} TE,$$

где $E(x, y, z)$ – комплексная амплитуда поля;

$\Delta_{\perp} = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2$ – оператор Лапласа;

z – координата, положительное направление которой совпадает с направлением распространения излучения;

x и y – координаты в поперечной плоскости;

k – волновое число, n_0 – невозмущенное значение показателя преломления;

T – температура среды.

Длина трассы во всех численных экспериментах была нормирована на дифракционную длину $Z_d = ka_0^2$, a_0 – начальный радиус субапертуры системы.

Для учета теплового самовоздействия было введено материальное уравнение, описывающее процесс нагрева атмосферы пучком:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (V_{\perp} \nabla_{\perp}) T = \frac{\alpha I}{\rho C_p},$$

где $V_{\perp}$ – скорость поперечного по отношению к трассе распространения пучка потока среды (скалярная величина);

t – переменная времени;

α – коэффициент поглощения;

I – интенсивность излучения;

ρ – плотность среды. Тепловые искажения характеризовались параметром нелинейности:

$$R_v = \frac{2k^2 a_0^3 \alpha I_0}{n_0 \rho C_p V} \frac{\partial n}{\partial T},$$

пропорциональным интенсивности пучка в плоскости апертуры источника I_0 и начальному радиусу a_0 , возведенному в третью степень, C_p – теплоемкость при постоянном давлении.

Искажения в условиях теплового самовоздействия многоканального лазерного излучения

Тепловая линза в многоканальной системе формируется несколькими пучками (рис. 2), в результате распределение интенсивности не получается серповидным, хотя в подветренной области структура многоканального пучка нарушается в большей степени (рис. 2). Характер нарушений зависит от суммарной мощности излучения (в рассматриваемом случае от параметра нелинейности R_v , характеризующего взаимодействие пучка со средой).

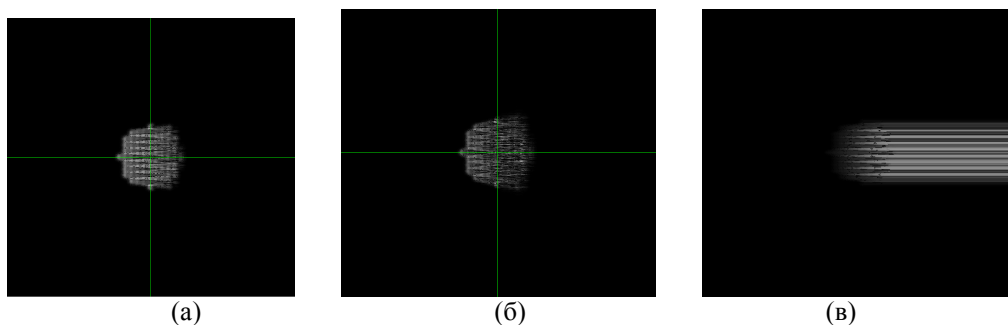


Рис. 2. Распределение интенсивности многоканального излучения и распределение температуры в канале распространения.

$$|R_v| = 10 \quad Z = Z_d / 2 \text{ (a)}, \quad |R_v| = 20 \quad Z = Z_d / 2 \text{ (б)},$$

$$\text{Распределение температуры на последнем экране, } |R_v| = 10 \text{ (в)}$$

В результате тепловых искажений изменяется характер зависимости от расстояния интенсивности на оси системы (рис. 3а) и критерия фокусировки (рис. 3б). На графике, характеризующем интенсивность, можем видеть, что на малых расстояниях ($Z/Z_d < 6$) амплитуда колебаний остается приблизительно одинаковой при различных значениях параметра R_v , тогда как частота колебаний варьируется. При увеличении расстояния уменьшаются максимальные значения интенсивности при увеличении модуля R_v .

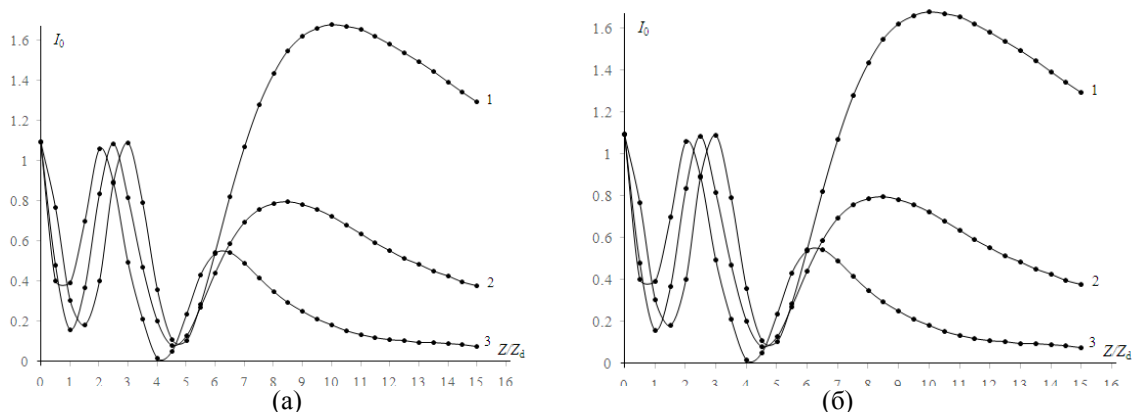


Рис. 3. Изменение интенсивности и критерия фокусировки при тепловом самовоздействии в зависимости от расстояния Z , пройденного излучением.
Кривая 1 соответствует значению параметра нелинейности $Rv = 0$ (распространение без искажений), 2 – $Rv = -5$, 3 – $Rv = -10$. Система сформирована 20 каналами

В целом можем заключить, что тепловое самовоздействие оказывает существенное влияние на параметры многоканального излучения. При этом характер искажений отличается от типичных искажений гауссова пучка.

Адаптивное управление излучением на основе алгоритма фазового сопряжения

Для компенсации тепловых искажений был использован алгоритм фазового сопряжения. Результаты коррекции иллюстрируются на рисунке 4, где представлены изменения критерия в процессе управления. На нулевой итерации значения параметра соответствуют плоскому фазовому профилю излучения (управление отсутствует). Графики показывают, что при небольшой мощности ($Rv = -5$) значения критерия, регистрируемые в апертурах с радиусом равным 5 и 10 начальным радиусам элементарного пучка, возрастают на нескольких начальных итерациях (кривые 2 и 3 на рис. 4 (а)), затем, независимо от радиуса апертуры приемника, остаются практически постоянными. Это означает, что концентрация светового поля увеличивается в центральной области без фокусировки всего пучка как целого. Увеличение мощности и соответствующее увеличение модуля параметра нелинейности приводит к незатухающим осцилляциям критерия (рис. 4 (б) и (в)), наблюдаемым для всего набора выбранных апертур приемника. В целом можно заключить, что использование фазового сопряжения для компенсации самовоздействия позволяет получить незначительное увеличение критерия фокусировки (если мощность излучения невелика) или совсем не приводит к росту этого параметра.

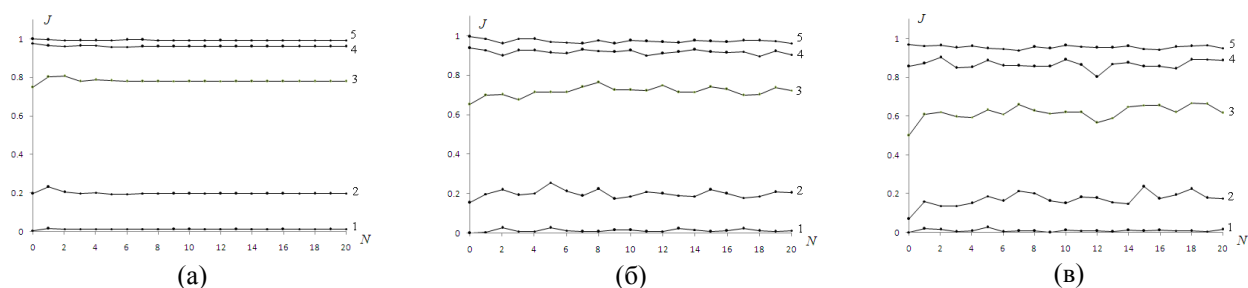


Рис. 4. Изменение критерия фокусировки в процессе адаптивного управления пучком, реализованного на основе алгоритма фазового сопряжения.

Значения параметра нелинейности: $Rv = -5$ (а), $Rv = -10$ (б), $Rv = -20$ (в).

Длина трассы распространения $Z = 3$. Номера кривых соответствуют предыдущему рисунку.

Заключение

Применение фазового сопряжения для компенсации теплого самовоздействия многоканального излучения целесообразно только при небольшой интенсивности искажений ($R_v = -5$). Увеличение критерия фокусировки в этом случае составляет около 10% и наблюдается только в центральной области пучка. Повышение величины интенсивности излучения приводит к незатухающим осцилляциям критерия.

Библиографический список

1. Power-scalable phase-compensating fiber-array transceiver for laser communications through the atmosphere / Hans Bruesselbach [etc.] // J. Opt. Soc. Am. B. 2005, V. 22, N 2. P. 347-354.
2. All-fiber coherent combining of Er-doped amplifiers through refractive index control in Yb-doped fibers / A.A. Fotiadi [etc] // Optics Letters. 2009. V. 34, N 22. P. 3574-3576.
3. Fan T.Y. Laser beam combining for high-power, high-radiance sources // IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 2005. V. 11, N 3. P. 567-572.
4. Grime B.W. Phasing of a two-channel continuous-wave masteroscillator-power amplifier by use of a fiber phase-conjugate mirror / Grime B.W., Roh W.B., and Alley Th.G. // Opt. Lett. 2005. V.30, P. 2415-2417.
5. Xinyan Fan, Jingjiao Liu, Jinsheng Liu, and Jingli Wu. Experimental investigation of a seven-element hexagonal fiber coherent array // Chinese Optics Letters. 2010. V.8, N 1. P. 48-51.
6. Vorontsov M.A. and Lachinova S.I. Laser beam projection with adaptive array of fiber collimators. I. Basic consideration for analysis // J. Opt. Soc. Am. A. 2008. V.25, N.8. P.1949-1959.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ

Д.Ю. Ерохин, А.Б. Фельдман

*Рязанский государственный радиотехнический университет, Рязань,
erokhin.d.y@gmail.com*

Аннотация. В данной работе рассмотрен нейросетевой подход к решению задачи обнаружения объектов на изображении, который может быть использован в системах технического зрения с ограниченными вычислительными ресурсами. Описаны основные логические блоки и принцип работы быстродействующей нейронной сети.

Ключевые слова. Сверточная нейронная сеть, обработка изображений, распознавание образов

EFFICIENT CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR OBJECT DETECTION IN MACHINE VISION APPLICATIONS WITH LIMITED COMPUTING RESOURCES

D.Y. Erokhin, A.B. Feldman

*Ryazan state radio engineering university, Ryazan,
erokhin.d.y@gmail.com*

Abstract. This work presents the efficient convolutional neural network that can be using in machine vision application with low computation capability. The main logical block and basic principles of the neural network are described.

Keywords. Convolution neural network, image processing, pattern recognition

Анализ тенденций последних лет, показывает, что усложнение архитектуры сверточных нейронных сетей позволяет решать с их помощью все более широкий класс задач. Хорошим примером служит решение задачи сегментации изображения. На рисунке 1 в качестве примера приведено изображение с результатом работы нейронной сети mask r-cnn [1]. В основе архитектуры данной нейронной сети лежит сеть Faster r-cnn [2], которая была адаптирована для классификации каждого пикселя поступившего изображения. Как видно из рисунка

ка 1 подобные нейросети хорошо подходят не только для сегментации изображений, но и для решения задачи обнаружения объектов. Однако, стоит отметить, что нейронные сети, которые непосредственно спроектированы для семантической сегментации изображений требуют больших объемов вычислительных ресурсов и памяти.



Рис. 1. Результат работы нейросети mask r-cnn

В широком классе задач, которые решаются с помощью систем технического зрения, немаловажным фактором является вычислительная эффективность используемых алгоритмов и минимальный объем памяти, который требуется для работы системы [3]. Примером таких задач могут выступать обнаружение и распознавание объектов в робототехнике, на беспилотных аппаратах [4], а также на различных производствах, где нет возможности использовать мощную вычислительную платформу или обрабатывать данные удаленно. По этой причине не всегда удастся повысить качество решения задачи путем использования нейронных сетей с более сложной архитектурой. В данном докладе речь пойдет об искусственных нейронных сетях: MobileNet [5] и SSD (Single Shot Detector) [6], архитектура которых позволяет использовать их во встраиваемых системах и системах с ограниченными вычислительными ресурсами.

Архитектура нейросети SSD приведена на рисунке 2. Рассматриваемая искусственная сверточная нейронная сеть использует блок извлечения признаков изображений (feature extractor, FE) VGG16. В зависимости от задачи и требований к быстродействию может использоваться какой-либо другой блок, например, VGG19. Помимо блока извлечения признаков сеть также имеет несколько сверточных слоев, которые служат для постепенного уменьшения пространственного размера поступившего на вход изображения.

С выхода каждого из сверточных слоев информация поступает на блок обнаружения и распознавания (detection and classification). Данный блок подробно будет рассмотрен ниже. Благодаря постепенному сокращению пространственной размерности и увеличению глубины карты признаков (feature map, FM) данная сеть способна обнаруживать, как большие, так и малые объекты. На FM с большим пространственным разрешением происходит обнаружение малых объектов, соответственно на FM с малым пространственным разрешением, но большим числом каналов, выполняется обнаружение крупных объектов.

Результаты, полученные в каждом блоке обнаружения и распознавания, поступают в блок fast NMS (быстрая реализация алгоритма подавления не максимумов), который занимается комплексированием информации, полученной с карт признаков разных масштабов.

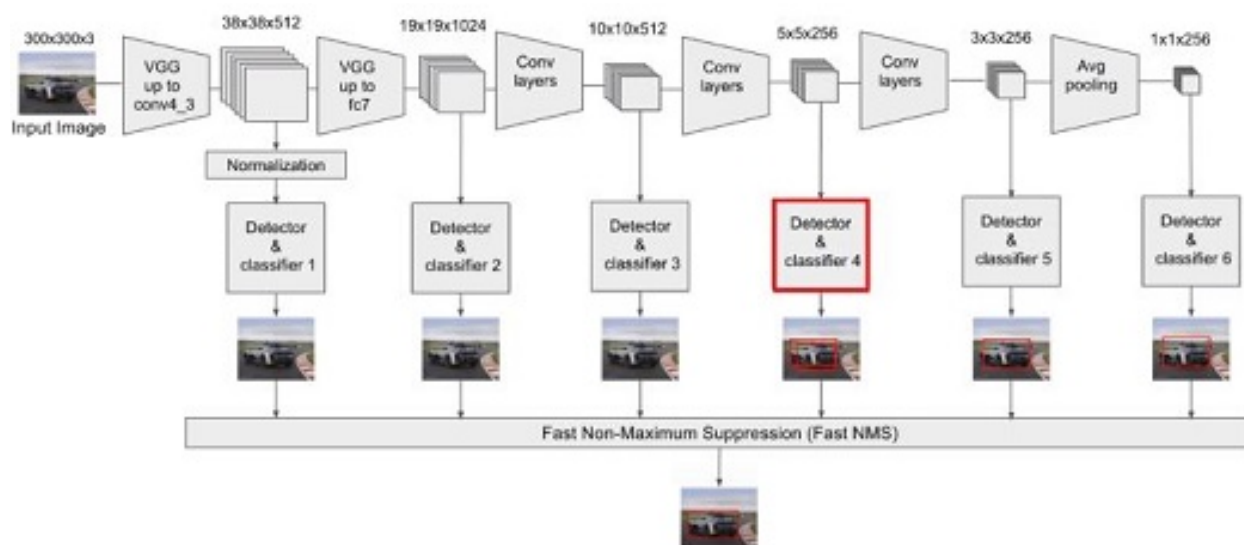


Рис. 2. Архитектура нейросети SSD

Остановимся подробнее на блоке обнаружения и классификации, его структура приведена на рисунке 3. На вход блока поступает промежуточная карта признаков. Блок Default box generator строит прямоугольники, которые покрывают все входное изображение. Каждой ячейке поступившей карты признаков соответствует определенное количество прямоугольников на исходном изображении. Блок “Localization” отвечает за коррекцию положения и размеров построенных прямоугольников. Блок “Confidence” вычисляет для каждого класса оценку вероятности того, что в прямоугольнике находится объект этого класса. Для этого используется функция softmax [7], которая представляет собой обобщенную логистическую функцию для многомерного случая.

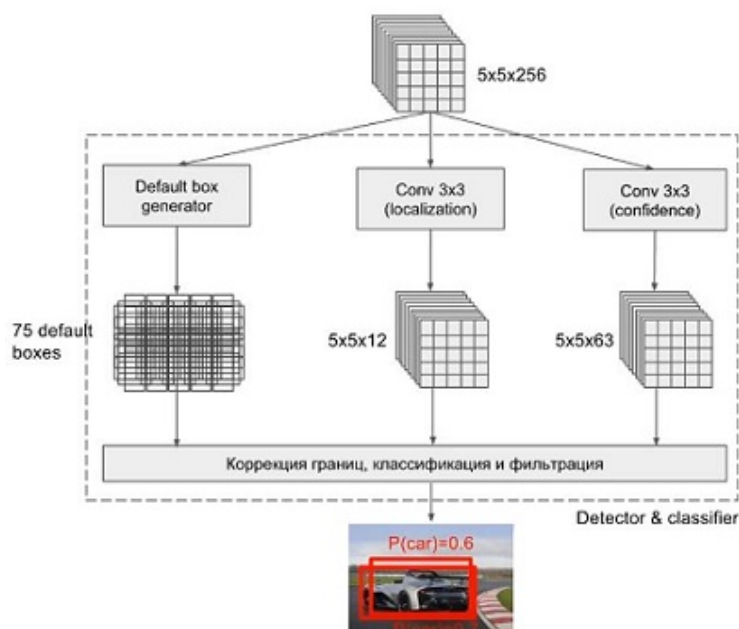


Рис. 3. Блок обнаружения и классификации

Результатом работы нейросети является список обнаруженных объектов с указанием их координат и класса принадлежности.

В работе [3] предложена техника для увеличения производительности нейросети SSD, под названием depthwise separable convolution (DSC). Идея данного подхода заключается в следующем – заменить обычную свертку следующими действиями:

- Каждый признак исходной карты признаков сворачивают отдельно от других с ядром $1 \times 1 \times N$, где N – размерность вектора признаков. Эта операция называется pointwise convolution.
- К каждому каналу карты признаков применяется свертка с ядром размером $3 \times 3 \times 1$. Эта операция называется depthwise spatial convolution.

Данная техника позволяет в несколько раз сократить число весов сверточной нейронной сети, что приводит к существенному сокращению потребляемой памяти и увеличению быстродействия. Point convolution и depthwise spatial convolution приведены на рисунке 4.

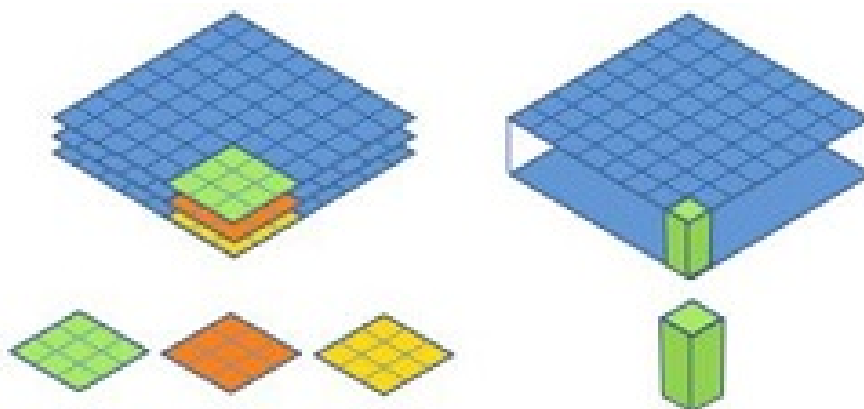


Рис. 4. Применение операций «Depthwise spatial convolution» и «pointwise convolution»

В дальнейшей работе планируется провести эксперименты с использованием специального вычислительного блока Jetson TX2 и библиотеки для глубинного обучения Tensorflow.

Библиографический список

1. He K. et al. Mask r-cnn //Computer Vision (ICCV), 2017 IEEE International Conference on. – IEEE, 2017. – С. 2980-2988..
2. Ren S. et al. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks //Advances in neural information processing systems. – 2015. – С. 91-99.
3. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Обработка изображений и управление в системах автоматического сопровождения объектов. – Рязань, 2011. – 235 с.
4. Erokhin D. Y., Feldman A. B., Korepanov S. E. DETECTION AND TRACKING OF MOVING OBJECTS WITH REAL-TIME ONBOARD VISION SYSTEM //International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences. – 2017. – Т. 42.
5. Howard A. G. et al. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications //arXiv preprint arXiv:1704.04861. – 2017. Secure Data Card IP Core. Altera Corporation - University Program. 2014.
6. Liu W. et al. Ssd: Single shot multibox detector //European conference on computer vision. – Springer, Cham, 2016. – С. 21-37.
6. Bishop C. M. Neural networks for pattern recognition. –

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В СРЕДЕ SIMULINK

М.А. Иванов, А.Б. Фельдман

Рязанский государственный радиотехнический университет, Россия, Рязань,

maxryazan@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрен алгоритм пространственной фильтрации для обнаружения и оценки параметров воздушных объектов. Представлена реализация данного алгоритма в среде SIMULINK. Приводятся результаты сравнительных экспериментальных исследований, выполненные с использованием натуральных видеосюжетов.

Ключевые слова. Изображение, алгоритм пространственной фильтрации, видеопоследовательность.

IMPLEMENTATION OF THE SPATIAL FILTRATION ALGORITHM FOR DETECTING AND ASSESSMENT OF PARAMETERS OF AIR OBJECTS IN THE SIMULINK ENVIRONMENT

M. Ivanov, A.B. Feldman

Ryazan state radio engineering university, Russia, Ryazan,

maxryazan@mail.ru

Abstract. The paper considers an algorithm of spatial filtration for detection and evaluation of parameters of air objects. The implementation of this algorithm with SIMULINK environment is described. The results of comparative experiments with the use of natural videos are presented

Keywords. Image, algorithm of spatial filtering, video sequence

Введение

Цифровая обработка изображений (ЦОИ) в последние несколько десятилетий быстро развивающаяся область науки и техники [1, 2]. Её задачи можно разделить на две основные части:

1) Фильтрация и улучшение визуального восприятия. Изображение объекта, представляющего интерес, может подвергаться воздействию различных помех, которые требуется по возможности ослабить. Кроме того, может потребоваться подчеркнуть контуры на изображении, сделать его более контрастным, и т. д.

2) Обнаружение объектов и их распознавание. Требуется на фоне мешающих фрагментов изображения найти интересующие нас объекты. Если таких объектов может быть несколько видов, то дополнительно нужно их классифицировать. В качестве примеров можно привести автоматическое считывание гос. знаков проезжающих автомобилей, обнаружение и идентификацию летательных аппаратов, обнаружение лесных пожаров и т. д. Зачастую задача обнаружения ставится менее определенной – требуется обнаружить аномалии, т. е. участки изображения, чем-то отличающиеся от своего окружения.

В настоящее время задача выделения и слежения за объектами стала одной из приоритетных для исследователей в области обработки изображения [3]. Эта задача актуальна, так как является первым этапом при решении более сложных проблем автоматического распознавания объектов и находит огромное практическое применение.

Выделение и слежение за объектами как этап обработки визуальной информации является естественным и логическим расширением функциональных возможностей систем ЦОИ [1, 4], так как позволяет осуществить визуальный анализ областей объектов, их яркостных и геометрических характеристик. В то же время от качества выделения и обнаружения объектов во многом зависит успех решения задачи распознавания изображений, интерпретации или идентификации визуально наблюдаемых объектов и, в конечном счете, выработки управляющих воздействий в робототехнических системах.

В данной работе реализован алгоритм пространственной фильтрации для обнаружения и оценки параметров воздушных объектов [5, 6], как составная часть системы выделения и слежения за объектами. Тема данной работы актуальна в связи с тем, что алгоритм пространственной фильтрации для обнаружения и оценки параметров воздушных объектов требуется для работы в составе бортовых информационных комплексов, которые предназначены для установки на автомобильную и авиационную технику, системы мониторинга и контроля движения в воздушном пространстве, системы противовоздушной безопасности промышленных предприятий.

Алгоритм пространственной фильтрации для обнаружения и оценки параметров воздушных объектов

Пусть обрабатываемое изображение каждого кадра видеопоследовательности имеет вид матрицы чисел $l(i, j)$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J}$.

Для более точной оценки яркости объекта и снижения влияния шумов, присутствующих в видеосюжете, значение обрабатываемого пикселя усредняется со своими ближайшими соседями, для чего анализируемое изображение $l(i, j)$ обрабатывается линейным усредняющим фильтром, имеющим маску $w_1(m, n)$:

$$w_1(m, n) = 1/q_1^2, \quad m, n = \overline{-(q_1-1)/2, (q_1-1)/2}; \quad (1)$$

размерности $q_1 \times q_1$.

Одновременно с этим изображение $l(i, j)$ сглаживается фильтром с маской $w_2(m, n)$:

$$w_2(m, n) = \begin{cases} 0, & \text{при } m, n = \overline{-(q_1-1)/2, (q_1-1)/2}, \\ 1/(q_2^2 - q_1^2), & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

размерности $q_2 \times q_2$, причем $q_2 > q_1$. Данная операция проводится для оценки фоновой составляющей, путем усреднения значения каждого пикселя изображения по некоторой области, определяемой видом маски w_2 , при этом размерность маски фильтра зависит от яркостной изменчивости фоновой составляющей и площади наблюдаемого объекта. Чем менее однороден фон, тем меньшей размерности следует выбирать маску w_2 . Наличие нулевых значений в центральной части маски позволяет более точно оценить фоновую составляющую, что благоприятно сказывается на точности обнаружения объектов, особенно малоразмерных. Максимально точной оценка будет при условии однородности фона в области изображения, ограниченной размерами маски w_2 [7].

В соответствии с приведенным выше описанием, результат пространственной фильтрации можно представить как:

$$\begin{aligned} f_1(i, j) &= \sum_{m=-(q_1-1)/2}^{(q_1-1)/2} \sum_{n=-(q_1-1)/2}^{(q_1-1)/2} w_1(m, n) l(i-m, j-n), \\ f_2(i, j) &= \sum_{m=-(q_2-1)/2}^{(q_2-1)/2} \sum_{n=-(q_2-1)/2}^{(q_2-1)/2} w_2(m, n) l(i-m, j-n), \end{aligned} \quad (3)$$

где $f_1(i, j)$ и $f_2(i, j)$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J}$ – итоговые изображения, полученные после обработки

$l(i, j)$ фильтрами с масками w_1 и w_2 соответственно.

После получения $f_1(i, j)$ и $f_2(i, j)$ в результате операции вычитания находится разность $d(i, j) = f_1(i, j) - f_2(i, j)$. Использование пространственной фильтрации позволяет увеличить отношение сигнал/шум в разностном препарате [4].

На практике остаточный шум можно аппроксимировать нормальным законом распределения. Операция вычитания фона приводит к тому, что математическое ожидание остаточного шума принимает значение близкое к нулю. Так как яркости точек объекта превышают яркости точек шумовой составляющей и расположены на краях гистограммы $d(i, j)$, то объект можно выделить в соответствии со следующим правилом:

$$r(i, j) = \begin{cases} 1, & |d(i, j)| > k \cdot \hat{\sigma}, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (4)$$

где k – пороговый коэффициент, $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{IJ} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J d^2(i, j)}$ – оценка среднеквадратического отклонения шума, вычисляемая во всей области кадра.

Если значение модуля разности в точке с координатами (i, j) выше порогового, то алгоритм принимает решение о принадлежности этого пикселя объекту, в противном случае – фону.

На практике на изображениях, полученных от инфракрасных датчиков, яркость объектов заметно превышает яркость фона. Это обстоятельство объясняется тем, что на большинстве наблюдаемой авиационной техники устанавливаются двигатели, сильно излучающие в инфракрасном диапазоне. При наличии такой априорной информации решающее правило целесообразно привести к виду:

$$r(i, j) = \begin{cases} 1, & d(i, j) > k \cdot \hat{\sigma}, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (5)$$

Особенности реализации алгоритма в среде SIMULINK

Рассмотренный алгоритм был реализован в среде Simulink пакета MatLab. Simulink – это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов, строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы [8].

Разработанная модель (рис. 1) для реализации алгоритма обнаружения воздушных объектов на основе пространственной фильтрации наблюдаемых изображений состоит из следующих блоков:

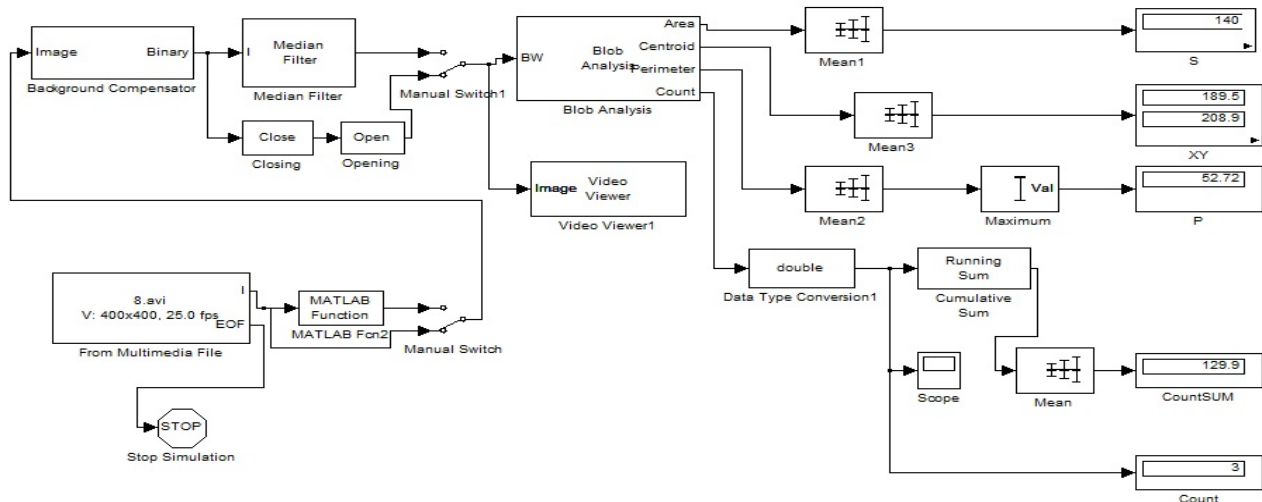


Рис. 1. Simulink-модель алгоритма пространственной фильтрации

- Блок остановки моделирования Stop Simulation, который обеспечивает завершение расчета, если входной сигнал блока становится не равным нулю;
- Блок From Multimedia File применяется для чтения видеофайлов;
- Блок Video Viewer. В нем реализован вывод изображения на экран;
- Для реализации алгоритма на основе пространственной фильтрации изображения добавлен блок Background Compensator.

- Для нахождения числа бинарных сегментов применяется блок Blob Analysis. В случае большого количества сегментов для вывода правильного результата используется блок Data Type Conversion, который преобразует данные выхода Count блока Blob Analysis к типу double. Все найденные сегменты суммируются в блоке Cumulative Sum. Обычно этот блок используют, когда нужно просуммировать данные, подаваемые на вход в разные моменты времени. Число найденных сегментов записывается в блок Display и выводится на экран.

- Блок Mean. Определяет математическое ожидание (среднее значение) по столбцам, строкам или всей матрице. В данном случае используется для сглаживания значений по времени.

- Медианный фильтр [9] (блок Median Filter) - один из видов цифровых фильтров, широко используемый в цифровой обработке сигналов и изображений для уменьшения уровня шума. Значения отсчетов внутри окна фильтра сортируются в порядке возрастания (убывания); и значение, находящееся в середине упорядоченного списка, поступает на выход фильтра. В случае четного числа отсчетов в окне выходное значение фильтра равно среднему значению двух отсчетов в середине упорядоченного списка. Окно перемещается вдоль фильтруемого сигнала и вычисления повторяются.

- Операции морфологического открытия и закрытия, осуществляющиеся с помощью блоков Closing и Opening, применяются для снижения числа ложных сегментов, порожденных воздействием шума;

- Блоки Display (P, S, XY) отображают параметры наблюдаемого объекта, его периметр, площадь и координаты центра.

Результаты экспериментальных исследований

Экспериментальная проверка алгоритма в основном производилась с использованием характерных естественных видеопоследовательностей продолжительностью от 250 до 550 кадров, снятых в ТВ и ИК диапазонах. Характерные кадры из тестовых видеосюжетов изображены на рисунке 2.

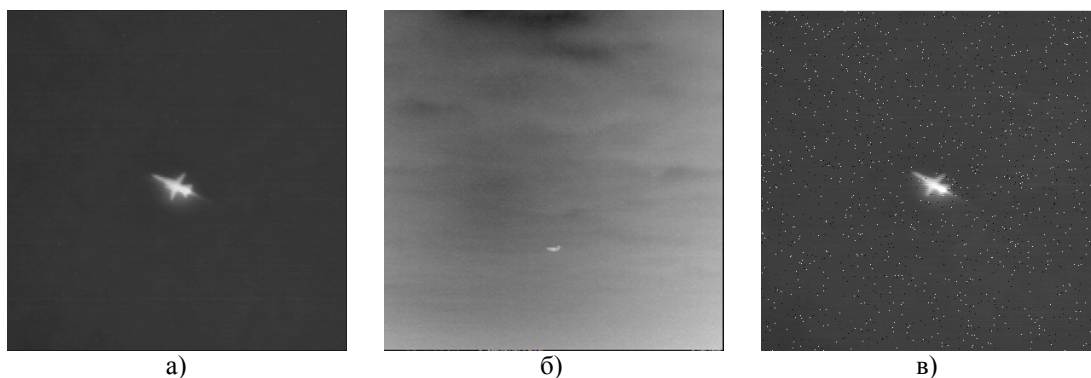


Рис. 2. Характерные кадры из тестовых видеосюжетов:

а – с крупноразмерным объектом;
б - с малоразмерным объектом; в - с наложенной шумовой составляющей

Целью эксперимента стало изучение влияния значений апертур линейного усредняющего фильтра (УФ), сглаживающего фильтра (СФ) и порогового коэффициента (k) на усредненное число найденных сегментов в видеопоследовательности при различном масштабе и яркости наблюдаемого объекта. Результаты эксперимента приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Усредненное число найденных сегментов в видеопоследовательности для первого сюжета

УФ = 21				УФ = 31			
СФ = 3		СФ = 5		СФ = 3		СФ = 5	
$k = 6,5$	1,12	$k = 6,5$	0,16	$k = 6$	0,52	$k = 6$	0
$k = 7$	1,06	$k = 7$	0,01	$k = 6,5$	0,11	$k = 6,5$	0
$k = 7,5$	0,92	$k = 7,5$	0	$k = 7$	0	$k = 7$	0
$k = 8$	0,72	$k = 8$	0	$k = 7,5$	0	$k = 7,5$	0

Таблица 2 – Усредненное число найденных сегментов в видеопоследовательности для второго сюжета

УФ = 21				УФ = 31			
СФ = 3		СФ = 5		СФ = 3		СФ = 5	
$k = 6,5$	5.5	$k = 6,5$	5.22	$k = 6$	3.72	$k = 6$	3.03
$k = 7$	5.16	$k = 7$	4.94	$k = 6,5$	3.58	$k = 6,5$	3.04
$k = 7,5$	5.8	$k = 7,5$	5.11	$k = 7$	3.76	$k = 7$	3.02
$k = 8$	5.6	$k = 8$	5.01	$k = 7,5$	3.55	$k = 7,5$	2.99

На основании проделанного эксперимента был сделан вывод, что при наблюдении очень ярких объектов целесообразно увеличить значения порогового коэффициента до 7-8. При наблюдении крупноразмерных объектов необходимо увеличивать размеры усредняющего фильтра и сглаживающего фильтра. Однако при возрастании размера сглаживающего фильтра форма объекта, как правило, искажается.

В условиях зашумленности видеосюжета целесообразно применять операции морфологического открытия и закрытия [10]. Эти операции сокращают количество ложных сегментов в среднем в 1.37 раз по сравнению с медианной фильтрацией, а также при воздействии шума на видеопоследовательность восстанавливают изображение объекта наблюдения.

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод о применимости рассмотренного алгоритма пространственной фильтрации для обнаружения и оценки параметров воздушных объектов к реальным видеопоследовательностям.

Возможными областями применения алгоритма являются видеоинформационные комплексы летательных аппаратов, системы мониторинга воздушного пространства.

Библиографический список

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.: ил.
2. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В. и др. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
3. Алпатов Б.А., Бабаян П.В. Технологии обработки и распознавания изображений в бортовых системах технического зрения // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – Рязань. – 2017. – №2. – С.34-44.
4. Алпатов Б.А., Блохин А.Н. Модели и алгоритмы обнаружения и выделения движущихся фрагментов изображений // Автометрия. – 1995. – №4. – С. 100-104.
5. Муравьев В.С. Пространственный алгоритм обнаружения и определения координат воздушных объектов на изображениях // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – Рязань, 2009. – №2(28). – С.17-20.
6. Алпатов Б.А., Муравьев В.С., Муравьев С.И. Обработка и анализ изображений в системах автоматического обнаружения и сопровождения воздушных объектов. – Рязань, 2012. 112 с.
7. Алпатов Б.А., Муравьев С.И., Муравьев В.С. Пространственный алгоритм выделения объектов на основе адаптивной пороговой обработки // Цифровая обработка сигналов и ее применения. Тез. докл. 8-й междунар. конф. Том 2. – М.: 2006. – С. 445-448.
8. Черных И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.
9. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 616с.
10. Алпатов Б.А., Катаев А.А. Исследование эффективности алгоритма межкадровой фильтрации бинарного изображения в системах видеослежения // Вестник РГРТА. Вып. 19. Рязань: РГРТУ, 2006. с. 3-6.

УДК 519.711; ГРНТИ 50.43.19

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО САМОНАСТРАИВАЮЩЕГОСЯ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С УПРУГОЙ НАГРУЗКОЙ

А. И. Бобиков, А. О. Бозванов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Рязанская область, Рязань, alexbozvanov@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе описана система управления угловым положением двигателя постоянного тока с нагрузкой, построенная с использованием инструмента Simulink в пакете приложений MATLAB. Проводится сравнительный анализ предложенных методов управления.

Ключевые слова. Двигатель постоянного тока, угловое положение, ПИД-регулятор, нагрузка, нечеткая логика.

DESIGNING OF THE FUZZY SELF-ADJUSTABLE PID CONTROLLER FOR ANGULAR POSITION OF A DC ENGINE WITH ELASTIC LOAD

A.I. Bobikov, A.O. Bozvanov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan Region, Ryazan, alexbozvanov@yandex.ru*

Annotation. In this paper, a system for controlling the angular position of a DC motor with a load, constructed using the Simulink tool in the MATLAB application package, is described. A comparative analysis of the proposed management methods is carried out.

Keywords. DC motor, angular position, PID controller, load, fuzzy logic.

Введение

Двигатели постоянного тока (ДПТ) широко используются в различных применениях, таких как станки, роботы, манипуляторы для производства полупроводников, радары и спутниковые антенны. С развитием технологий возрастает спрос на высокоточные контроллеры положения, которые должны иметь быстрое отслеживание, способность отклонения

помех и устойчивость к неопределенностям. Однако нелинейности, включая люфт и трение, часто присутствуют в ДПТ, что может привести к установившимся ошибкам слежения и предельным циклам. Трение возникает при физическом контакте между двумя поверхностями. Это естественное явление, которое трудно моделировать. Поскольку трение не всегда поддается строгому математическому анализу, его часто просто игнорируют из-за отсутствия доступных инструментов управления.

Большинство работ по компенсации нелинейностей посвящены управлению скоростью ДПТ, например, статья [3], однако управление угловым положением является наиболее приоритетной и важной задачей. Так в работе [1] данная проблема решается с помощью регуляторов, настроенных следующими методами: пакет *Simulink Response Optimization*, алгоритм нечеткой самонастройки, а также алгоритм нейросетевого управления. Однако, в статье не учитываются нелинейные статическое трение и упругая нагрузка.

Идея разработки регулятора для управления угловым положением ДПТ с упругой нагрузкой не нова. Так, например, в статье [2] данная проблема решается с помощью регулятора, настроенного на основе метода характеристического моделирования. Такой регулятор построен с использованием адаптивного закона управления золотым сечением и интегрального закона управления. Данный способ решения проблемы требует большого объема вычислений, что усложняет саму реализацию ДПТ.

В данной работе рассматривается тот же подход к настройке регулятора, что и в статье [1], который позволяет в должной мере ослабить влияние нелинейностей на работу ДПТ.

Построение модели ДПТ

Структура типичной электромеханической системы приведена на рисунке 1.

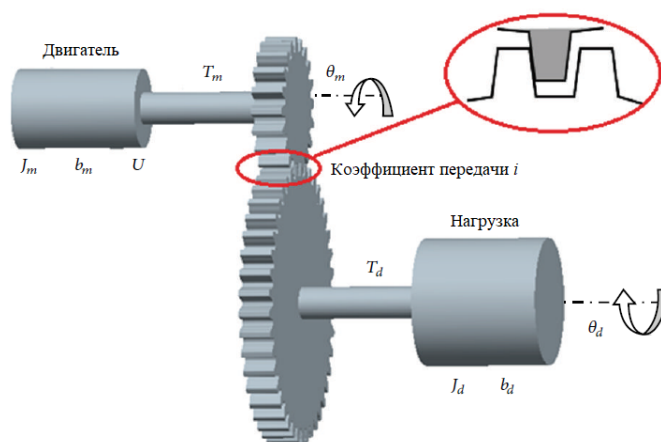


Рис. 1. Структура электромеханической системы

Уравнения математической модели ДПТ имеют следующий вид:

$$U(t) = k_e \dot{\theta}_m(t) + RI(t) + L \frac{dI(t)}{dt}, \quad (1)$$

$$J_m \ddot{\theta}_m(t) + b_m \dot{\theta}_m(t) = T_m - \tau_1 - \tau_2, \quad (2)$$

$$J_d \ddot{\theta}_d(t) + b_d \dot{\theta}_d(t) = i \tau_1, \quad (3)$$

$$T_m = k_d I(t), \quad (4)$$

$$\tau_1 = k_b f(z), \quad (5)$$

$$f(z) = \begin{cases} z + \alpha, & z < -\alpha, \\ 0, & |z| \leq \alpha, \\ z - \alpha, & z > \alpha, \end{cases} \quad (6)$$

$$\tau_2 = \text{sgn}(\dot{\theta}_m). \quad (7)$$

На основе рисунка 1 и математических данных (1-7) была построена модель ДПТ в Simulink (рис. 2).

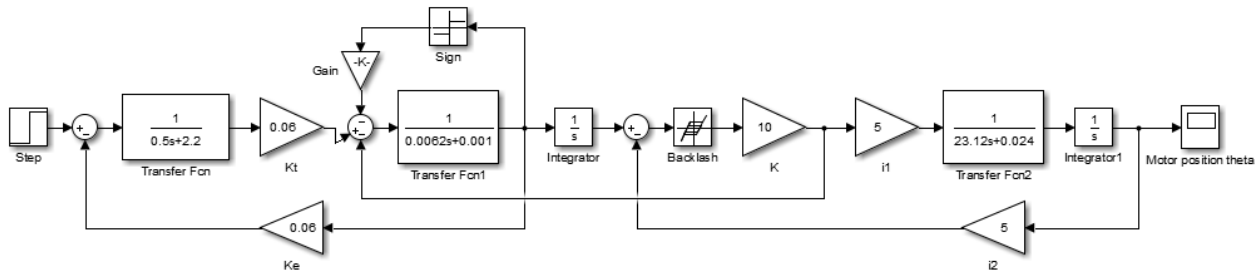


Рис. 2. Модель ДПТ в Simulink

Разработка оптимального ПИД-регулятора

Для расчета параметров ПИД-регулятора был использован пакет *Simulink Response Optimization* для автоматической оптимизации параметров моделей и регуляторов систем управления.

С целью проведения оптимизации системы управления (СУ) была собрана схема, представленная на рисунке 3. Процесс оптимизации происходит после задания ограничений на переходный процесс, время нарастания и время регулирования. На рисунке 4 представлена реакция системы управления на ступенчатый сигнал 12 вольт, что является максимально допустимым напряжением для данного вида двигателя. Значения параметров, полученные в результате оптимизации ПИД-регулятора, были использованы в качестве начальных параметров для проектирования самонастраивающегося ПИД-регулятора.

Как видно из результата моделирования, имеет место перерегулирование, что является нежелательным эффектом, нарушающим работу ДПТ.

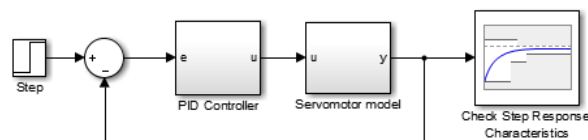


Рис. 3. Схема для оптимизации параметров ПИД – регулятора

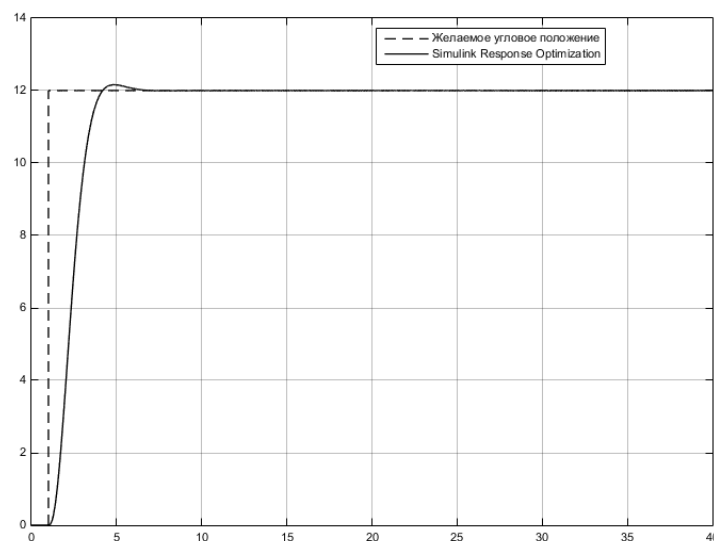


Рис. 4. Реакция СУ при ступенчатом входном сигнале

Разработка нечеткого самонастраивающегося ПИД-регулятора

Для уменьшения влияния нелинейностей ДПТ за основу был взят метод на основе нечеткого самонастраивающегося ПИД-регулятора, рассмотренный в статье [1].

На основе структурной схемы СУ с нечетким самонастраивающимся ПИД-регулятором, представленной на рисунке 5, была разработана модель такого регулятора в Simulink, показанной на рисунке 6.

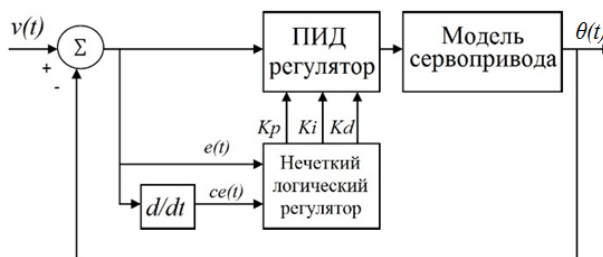


Рис. 5. Структурная схема СУ с нечетким самонастраивающимся ПИД-регулятором

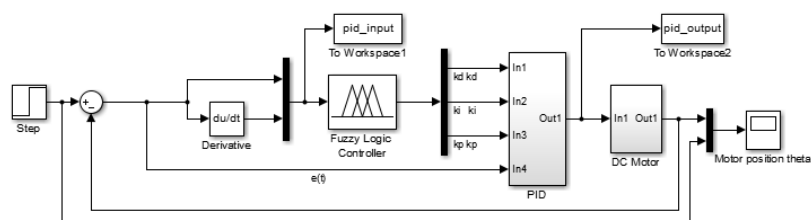


Рис. 6. Модель ДПТ с нечетким самонастраивающимся ПИД-регулятором

Для проектирования нечеткого самонастраивающегося ПИД-регулятора были выбраны функции принадлежности входных e , ce и выходных Kp , Ki и Kd лингвистических переменных (ЛП), сформирована база из 25 правил вида «ЕСЛИ...ТО». Во избежание путаницы в заданиях границ универсума для переменных, в качестве входных и выходных ЛП были использованы стандартные универсумы вида $[-1, 1]$. Чтобы использовать стандартный универсум необходимо выполнить модификацию в схеме системы управления с нечетким логическим регулятором, преобразующую выходы нечеткого регулятора.

Реакция системы с нечетким самонастраивающимся ПИД-регулятором на ступенчатый входной сигнал представлена на рис 7.

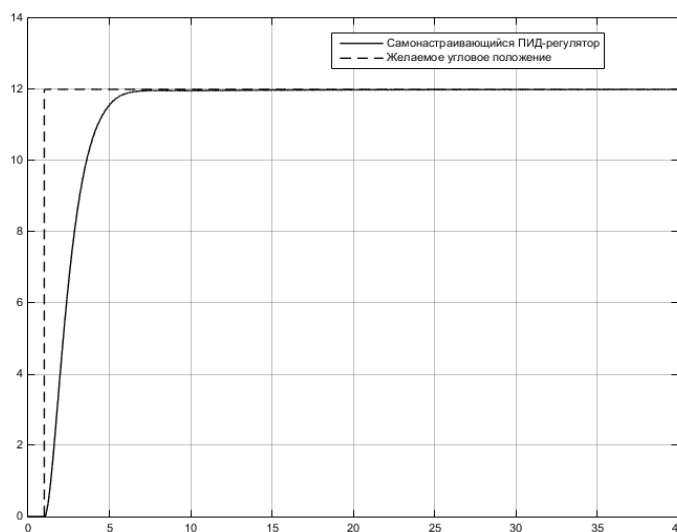


Рис. 7. Реакция СУ с нечетким самонастраивающимся регулятором на ступенчатый входной сигнал

По рисунку 7 видно, что данный вид регулятора устранил перерегулирование в переходном процессе, в отличие от регулятора, настроенного с помощью Simulink Response Optimization.

Сравнение результатов работы рассмотренных систем управления

Для сравнения методов, предложенных в данной работе, был использован ступенчатый входной сигнал с максимальным значением, равным 12 вольт. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты работы СУ

	Simulink Response Optimization	Нечеткий самонастраивающийся ПИД-регулятор
$\sigma, \%$	1.33	0
t_p, c	3.65	4.73
$\varepsilon_{уст}$	0.008	0.005

Как видно по характеристикам переходного процесса, наилучшим вариантом регулятора для системы управления ДПТ с нелинейностями является нечеткий самонастраивающийся ПИД-регулятор, самое важное преимущество которого заключается в способности свести к минимуму влияние этих нелинейностей на угловое положение ДПТ и, кроме того, обеспечить переходный процесс без перерегулирования.

Таким образом, с помощью методов нечеткой логики можно ослабить влияние нелинейных параметров на выходной сигнал системы.

Библиографический список

1. Бобиков А.И., Бозванов А.О. Нейросетевое управление угловым положением двигателя постоянного тока // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2016. №57. С. 139 – 144.
2. Yifei Wu, Zhihong Wang, Yuanyuan Li, Wei Chen, Renhui Du, and Qingwei Chen: Characteristic Modeling and Control of Servo Systems with Backlash and Friction: - China, 2013.
3. Бобиков А. И., Сурков И. И. Нейросетевое управление скоростью двигателя постоянного тока // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. №52-2. С. 105 – 112.

УДК 681.515; ГРНТИ 28.15.15

СРАВНЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ФИЛЬТРА И СИСТЕМЫ С ФИЛЬТРОМ ПРЯМОЙ СВЯЗИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

А.И. Бобиков, Т.С. Бубнова

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, tanya.bubnova.94@mail.ru*

Аннотация. Рассматривается пошаговая настройка системы для объекта с запаздыванием с помощью пакета оптимизации Simulink Response Optimization. При этом предлагается дополнить классический ПИД-регулятор с предиктором Смита предварительным фильтром с целью уменьшить перерегулирование, и сравнить полученный результат с системой с фильтром прямой связи.

Ключевые слова. Фильтрующий предиктор Смита, ПИД-регулятор, транспортное запаздывание, предварительный фильтр, система с двумя степенями свободы.

COMPARISON OF THE SIGNAL FILTERING AND THE SYSTEM WITH THE FILTER FOR THE DIRECT COMMUNICATION IN PID CONTROL

A.I. Bobikov, T.S. Bubnova

Ryazan State Radio Engineering University
Russia, Ryazan, tanya.bubnova.94@mail

Abstract. We consider a step-by-step setup of the system for a delayed object using the Simulink Response Optimization optimization package. It is proposed to supplement the classical PID controller with Smith's predictor with a signal filter in order to reduce overshoot, and compare the result with a system with the filter for the direct communication.

Keywords. Filtered Smith predictor, PID controller, transport delay, signal filtering, the filter for the direct communication.

Введение

Наиболее распространенной методологией в системах управления является использование ПИД-регулятора в системах с обратной связью. Однако для объектов управления высокого порядка с запаздыванием использование одного ПИД-регулятора бывает недостаточно для обеспечения желаемых выходных характеристик системы. В литературе имеются различные подходы настройки и моделирования систем управления с целью улучшить реакцию системы на входное и возмущающие воздействия, например использование самонастраивающегося ПИД-регулятора [1], применение которого позволяет значительно улучшить реакцию системы относительно классического ПИД-регулятора. Но для объектов высокого порядка самонастраивающийся ПИД-регулятор необходимо дополнять дополнительным элементом управления, проектирование и настройка которых довольно сложна.

В литературе для систем второго порядка в работах [2,3] рассмотрен подход с использованием предварительного фильтра на входе, аналогичный подход предложено использовать в данной статье, но для систем высокого порядка. При этом стоит отметить, что в [2,3] также не учтено наличие запаздывания в объекте управления, которое может значительно ухудшить реакцию системы. Уменьшить негативное влияние запаздывания можно при помощи предиктора Смита [4] с фильтром, настройка которого осуществляется в пакете оптимизации Simulink Response Optimization. Пошаговая настройка ПИД-регулятора и фильтров позволяет добиться наилучшего результата и по отношению к подавлению постоянных возмущений, и по отношению к входному сигналу.

Также одним из наиболее популярных методов проектирования системы с ПИД-регулятором является система с двумя степенями свободы [5], это означает, что такая система управления имеет два независимо настраиваемых элемента управления. В качестве второй степени свободы в данной статье рассмотрен фильтр прямой связи. В данной работе предложено сравнить системы с предварительным фильтром и с двумя степенями свободы, настройка которых осуществлена с помощью пакета Simulink Response Optimization.

ПИД-регулятор с предварительным фильтром для объекта с запаздыванием

Закон управления классического ПИД-регулятора имеет следующий вид:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t),$$

где K_p, K_i, K_d – пропорциональный, интегральный и дифференциальный коэффициенты, $e(t)$ – ошибка управления.

В данной работе предлагается вначале проектирования настроить ПИД-регулятор по методу Циглера-Николса. В качестве объекта управления (ОУ) рассмотрена ПФ системы из трех каскадно-связанных резервуаров с транспортным запаздыванием, вида:

$$W(p) = \frac{2e^{-\tau p}}{(3p+1)(3p+1)(3p+1)},$$

где τ - транспортное запаздывание ОУ.

С целью уменьшить негативное влияние запаздывания на работу системы управления [4], в данной работе используется управление с помощью модифицированного предиктора Смита (рис. 1). Основной идеей является явное включение в структуру системы управления модели с передаточной функцией (ПФ) $\tilde{W}(p) = \tilde{W}_1(p)e^{-p\tau}$ реального объекта, описываемого ПФ $W(p) = W_1(p)e^{-p\tau}$. Такая структура позволит вынести элемент запаздывания за пределы замкнутого контура, что дает возможность проектирования регулятора без учета запаздывания.

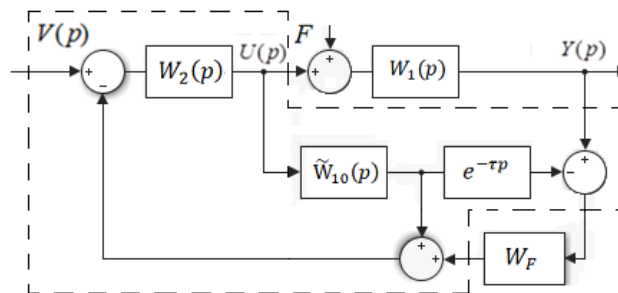


Рис. 1. Структурная схема системы с предиктором Смита

Однако при учете возмущающего воздействия F , действующего на объект управления, добавляют специальный фильтр W_F , который будет компенсировать действие возмущений на управление.

Для настройки параметров как ПИД-регулятора, так и фильтра с целью обеспечить робастность системы по отношению к внешним воздействиям и неточностям модели эффективно использовать пакет оптимизации Simulink Response Optimization программы Matlab/Simulink. Как показано в [1] система с предиктором Смита и фильтром, настроенная при помощи пакета оптимизации, позволяет обеспечить желаемые параметры качества управления.

Однако для объектов третьего порядка и выше система с предиктором Смита и фильтром показывает результаты с длительным переходным процессом и перерегулированием. Для получения наилучших показателей качества установим на вход системы фильтр $W_{FP} = \frac{T_1(p)+1}{T_2(p)+1}$, параметры которого найдем при помощи пакета оптимизации Simulink Response Optimization.

В качестве второго подхода для улучшения реакции системы на постоянное входное воздействие рассмотрим систему с фильтром прямой связи. Как показано в [5], добавление второго элемента управления позволяет сохранить уже достигнутые результаты относительно возмущающего воздействия, при этом улучшить реакцию на входное воздействие.

Модель системы с фильтром прямой связи и предиктором Смита для объекта с запаздыванием представлена на рис. 2. Здесь элемент управления состоит из двух элементов: ПИД-регулятора и контроллера $W_{Fv} = a * Kp + b * Kd(p)$, где Kp и Kd являются пропорциональным и дифференциальными параметрами ПИД-регулятора, a и b – коэффициенты контроллера. a и b в данном случае предложено также настраивать при помощи пакета оптимизации.

Моделирование

В процессе моделирования в пакете Matlab/Simulink была собрана схема с предиктором Смита и фильтром, где ПИД-регулятор и фильтр изначально настроены при помощи метода

Циглера-Николса и ручной настройки соответственно. После чего параметры ПИД-регулятора и фильтра были настроены при помощи пакета оптимизации Simulink Response Optimization, что позволяет в значительной степени уменьшить влияние возмущающих воздействий на реакцию системы, а также снизить перерегулирование и время нарастания при постоянном ступенчатом сигнале на входе. Следующим шагом на вход был добавлен предварительный фильтр, который позволил улучшить реакцию системы на входное воздействие.

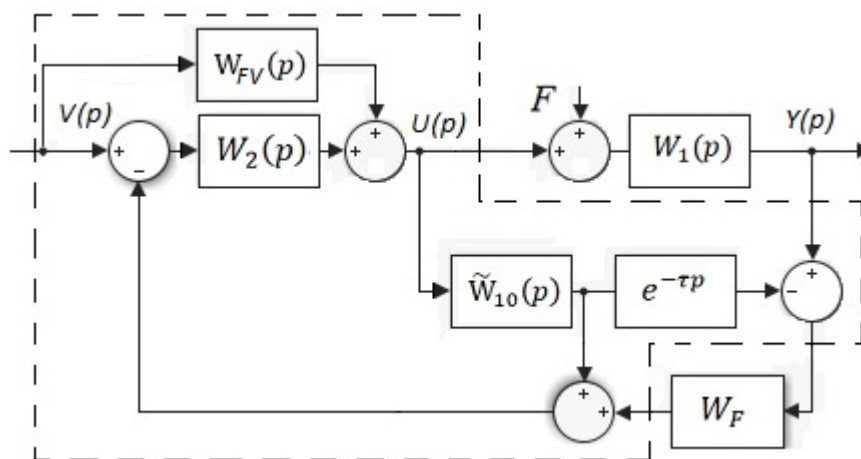


Рис. 2. Система управления с фильтром прямой связи

На рисунке 3 представлены результаты моделирования системы управления, где на вход системы управления подан постоянный ступенчатый единичный сигнал и на вход ОУ поступает возмущающее воздействие $d(t)=1*(t-50)$.

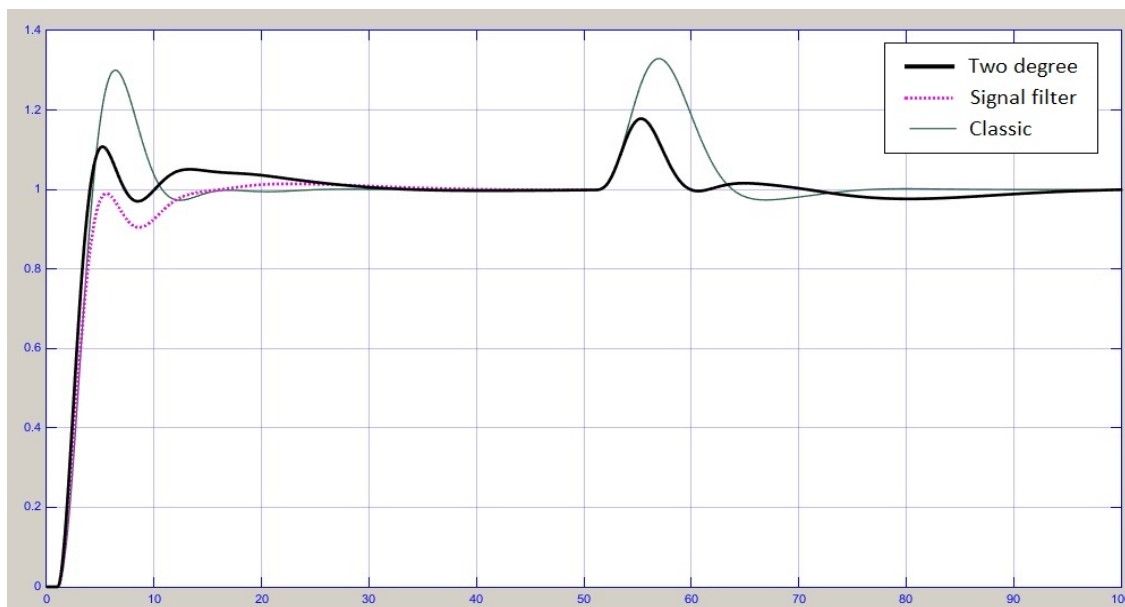


Рис. 3. Реакция системы на постоянный входной единичный сигнал и возмущающее воздействие $d(t)=1*(t-50)$

На рисунке Classic - это реакция системы без использования фильтра на входе, где ПИД-регулятор настроен по методу Циглера-Николса, а фильтр в предикторе Смита рассчитан вручную. Далее производилась настройка ПИД-регулятора и фильтра при помощи пакета оптимизации Simulink Response Optimization. Signal filter представляет собой реакцию системы с предварительным фильтром, параметры которого также были найдены автоматически в пакете оптимизации. Two degree демонстрирует реакцию системы с фильтром прямой связи после автоматической настройки.

Характеристики полученной системы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики результатов работы классической системы с ПИД-регулятором и предиктором Смита, системы с предварительным фильтром и системы с фильтром прямой связи

Оцениваемые характеристики	Классическая система с ПИД-регулятором и предиктором Смита	Система с предварительным фильтром	Система с фильтром прямой связи
Время нарастания	16 с	16с	16 с
Влияние возмущающих воздействий	30%	18%	18%
Перерегулирование	30%	0%	10%

Как видно из рисунка и таблицы, предварительный фильтр и система с двумя степенями свободы позволяют моделировать систему не влияя на возмущающее воздействие. Однако рассматривая реакцию на постоянное входное воздействие, предварительный фильтр помогает значительно снизить перерегулирование. Система с фильтром прямой связи так же позволила улучшить реакцию в сравнении с классическим подходом с одним ПИД-регулятором, но такой подход значительно проигрывает методу с использованием предварительного фильтра.

Выводы

Для систем высокого порядка использование классического ПИД-регулятора не всегда является достаточно эффективным. Поэтому с целью улучшить реакцию на постоянное входное воздействие с учетом возмущений был предложен системный подход, обеспечивающий поэтапную настройку системы. В первую очередь все параметры настраиваются классическими методами для достижения устойчивости системы, после чего осуществляется настройка в пакете оптимизации. Последним шагом является добавление предварительного фильтра, который позволяет значительно улучшить реакцию на входное воздействие системы, при этом, не затронув полученные результаты относительно возмущений.

В качестве альтернативы предварительному фильтру предложена система с двумя степенями свободы, которая также позволяет улучшить реакцию системы на входное воздействие. Однако согласно проведенным экспериментам использование предварительного фильтра значительно эффективнее.

Проведенное моделирование показывает эффективность рассмотренного подхода, а именно – автоматическая настройка ПИД-регулятора и фильтра в предикторе Смита позволяет обеспечить достаточно быстрое подавление постоянного возмущающего воздействия, а добавление предварительного фильтра или фильтра прямой связи не влияют на возмущение. При этом при сравнении эффективности работы предварительного фильтра и фильтра прямой связи наименьшее перерегулирование и время нарастания показывает первый подход.

Библиографический список

1. Бобиков А.И., Бубнова Т.С., Попова А.А. Непрерывный иммунный самонастраивающийся ПИД-регулятор для объекта с запаздыванием. — Рязань. Вестник РГРТУ №59, 2017.
2. T. Haggglung, Signal filtering in PID control. – IFAC Conference on Advances in PID Control, March, 2012. - pp. 28-30.
3. P.O. Larsson, and T.Haggglund. Control signal constraints and filter order selection for PI and PID controllers, 2011. In Proc. American Control Conference 2011.
4. Бобиков А.И., Бубнова Т.С. Настройка параметров предиктора Смита с фильтром с помощью пакета SimulinkResponseOptimization. — Рязань. Вестник РГРТУ №61, 2017.
5. D. Choudhary. Two degree of freedom PID controller for quadruple tank system. 2015. Department of Electronics and Communication Engineering National Institute of Technology, Rourkela, India.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МОНТАЖА BGA-КОМПОНЕНТ

А.Б. Фельдман*Рязанский государственный радиотехнический университет,**Россия, г. Рязань, feldman.a.b@rsreu.ru*

Аннотация. Рассматривается проблема монтажа на печатную плату BGA-компонент в условиях мелкосерийного и опытного производства. Показано, что с применением технологий обработки изображений можно добиться повышения производительности работы оператора, точности монтажа и снижения вероятности ошибок.

Ключевые слова. Монтаж BGA-компонент, обработка изображений image processing

TECHNOLOGIES OF PROCESSING OF IMAGES FOR INSTALLATION OF BGA-COMPONENT AUTOMATION

A.B. Feldman*Ryazan State Radio Engineering University**Russia, Ryazan, tanya.bubnova.94@mail*

Abstract. The installation problem on the printed circuit board a BGA component in the conditions of small-scale and pilot production is considered. It is shown that with use of technologies of processing of images it is possible to achieve increase in productivity of work of the operator, accuracy of installation and decrease in probability of mistakes.

Keywords. BGA component installation, image processing.

Введение

В современном мире невозможно представить достаточно сложное электронное устройство, в котором бы не использовались электронные компоненты в BGA корпусах. Геометрические характеристики компонентов BGA достаточно разнообразны:

- размеры шариковых выводов варьируются примерно от 800 до 250 мкм;
- минимальный шаг между выводами может достигать до 500 мкм.

В зависимости от числа шариковых выводов (которое может достигать порядка 1500 ед.) и шага между ними меняются и общие размеры микросхемы. Все это делает непростой задачей точное позиционирование микросхемы на посадочной площадке печатной платы.

При массовом производстве электронных устройств монтаж BGA-компонент осуществляется промышленными роботами, которым передается информация о печатной плате, номенклатуре и характеристиках используемых электронных компонент.

При мелкосерийном и опытном производстве монтаж на плату BGA-компонент осуществляется с помощью специализированного оборудования в ручном или полуавтоматическом режиме. В качестве примера рассмотрим паяльный комплекс «Термопро» ВП-750 [1] производства компании НТФ «Техно-Альянс Электроникс» (рис. 1), который состоит из термостол, устройства инфракрасной пайки, рамочного держателя и оптической системы на штативе. Оптическая система снабжается видеокамерой высокого разрешения, подключенной к компьютеру оператора. Характеристики видеокамеры позволяют оператору четко наблюдать посадочное место на печатной плате.

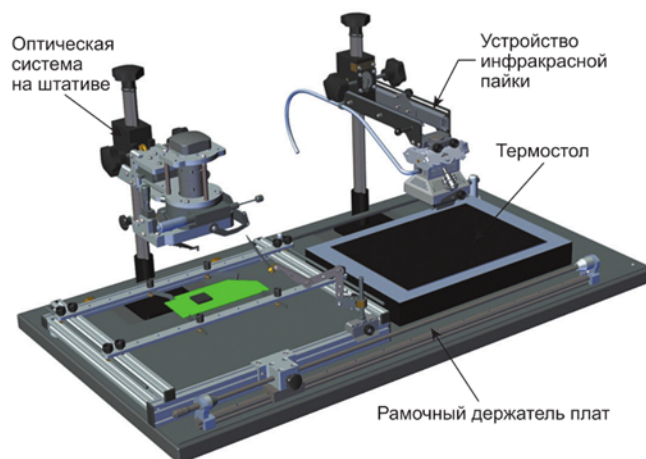


Рис. 1. Основные компоненты ремонтно-паяльного комплекса

В первую очередь плата закрепляется в рамочном держателе системы перемещения, которая позволяет регулировать расстояние от платы до плоскости нагревателя термостол, чем обеспечиваются необходимые условия для пайки. Далее оператор точно позиционирует плату, совмещая геометрический центр посадочного места компонента BGA и центр оптической системы (ось видеокамеры) и фиксируя положение платы по окончании позиционирования. Пример фрагмента изображения с посадочным местом компонента BGA приведен на рисунке 2.

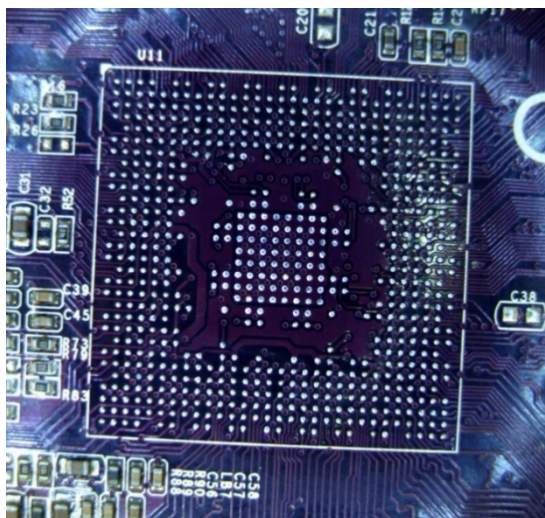


Рис. 2. Фрагмент изображения с посадочным местом на печатной плате

Процесс установки компонента BGA заключается в следующем.

1. На предварительно подготовленной печатной плате размечается посадочное место BGA-компонента. Для этого, оператор с помощью программного обеспечения отмечает некоторое число контактных площадок, расположенных таким образом, чтобы мог быть построен прямоугольник, грани которого параллельны границам массива контактных площадок, а центр совпадает с центром массива. Данный прямоугольник назовем реперной рамкой 1.

2. Оператор с помощью вакуумного держателя захватывает подготовленный BGA-компонент и вводит его в поле зрения оптической системы. Когда выполнен этот шаг, на изображении выбираются точки, определяющие углы корпуса компонента, – строится реперная рамка 2.

3. В режиме совмещения реперная рамка 2 выравнивается относительно реперной рамки 1, после чего оператор должен вписать изображение реального корпуса микросхемы в реперную рамку 2, передвигая и поворачивая корпус с помощью микроперемещателей.

Приведенная процедура имеет ряд недостатков:

1. Необходимость настройки камеры при изменении условий освещения или перемещениях паяльного комплекса.

2. Неточность или грубые ошибки при визуальном выборе контактных площадок и указании углов микросхемы, необходимых для формирования реперных рамок, могут существенным образом влиять на точность установки и, в худшем случае, приводить к выбраковке устройства.

3. В режиме совмещения небольшие смещения платы относительно оптической оси приводят к отклонению реперных рамок 1 и 2 от их желаемого положения на плате и, как следствие, ведут к ошибкам в установке микросхемы. Отметим, что требуемая точность установки может достигать 50-100 мкм.

В данном докладе предлагаются возможные пути решения части из указанных проблем путем применения технологий обработки изображений. Проблемы автоматического улучшения изображений выходят за рамки данного доклада, поэтому остановимся на пп. 2 и 3 вышеприведенного списка

Автоматизация выбора контактных площадок

Для выбора контактной площадки оператор пользуется специальным курсором круглой формы, радиус которого для удобства может меняться. Помимо этого, курсор снабжен «усами» настраиваемой длины для определения положения линии принадлежности контактной площадки и может вращаться вокруг своей оси. Изображение контактных площадок с курсором приведены на рисунке 3.

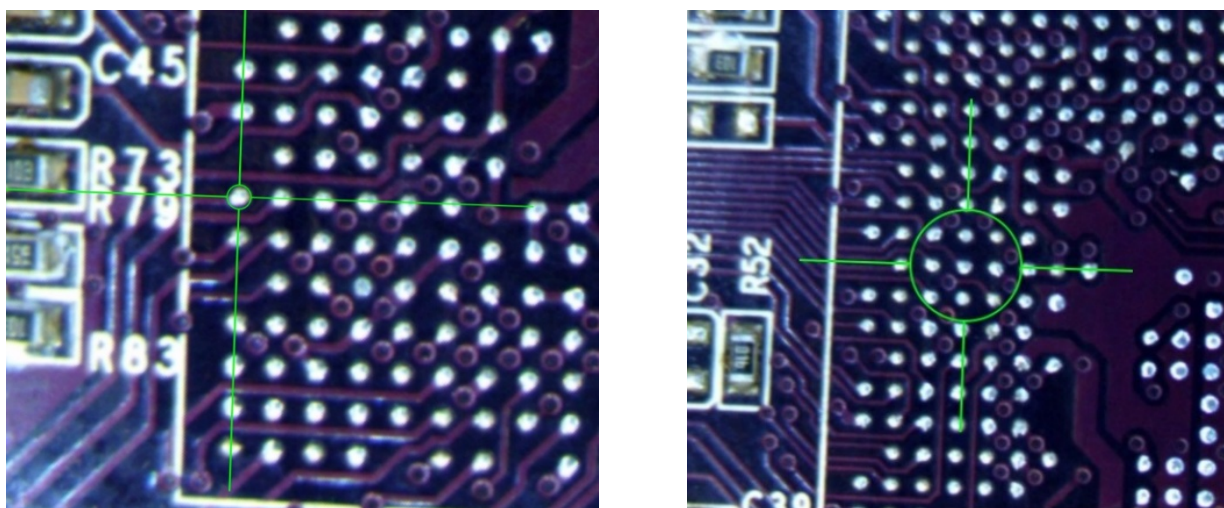


Рис. 3. Различные изображения курсора для выделения контактных площадок

Нетрудно заметить, что яркие контактные площадки, как правило, хорошо выделяются на фоне более темной платы, что позволяет применить для их выделения процедуру сегментации [2, 3]. В таком случае оператору достаточно лишь примерно навести на интересующую контактную площадку и грубо, путем выбора радиуса курсора, подобрать размер окрестности, в которой будет выполняться сегментация. В качестве алгоритма при стабильных условиях освещения может использоваться пороговая обработка с фиксированным порогом, задаваемым оператором. Однако, из анализа характера наблюдаемых изображений

представляется более целесообразным использование алгоритмов с автоматическим подбором порога, например, алгоритма с определением порога по методу Отсу [2].

Возможны ситуации, связанные с наличием дефектов выделения контактной площадки. К ним могут относиться:

- 1) выделение отдельных пикселей или небольших групп пикселей, не относящихся к контактным площадкам;
- 2) пропуск части пикселей, имеющих непосредственное отношение к контактной площадке;
- 3) выделение пикселей, представляющих часть соседней контактной площадки, вследствие неточного задания оператором зоны интереса.

Указанные дефекты могут приводить к ошибкам определения центра контактной площадки. Между тем, данные проблемы сегментации хорошо известны и могут легко быть устранены с помощью логической фильтрации или методов бинарной математической морфологии [2, 3]. После сегментации и вторичной обработки в качестве положения центра посадочной площадки можно выбрать геометрический центр сегмента на полученном бинарном изображении фрагмента печатной платы.

Автоматизация выделения угловых точек корпуса BGA микросхемы

В отличие от контактных площадок, границы корпуса BGA микросхемы часто могут быть плохо различимы. В этом случае для выделения угловых точек целесообразно обеспечить возможность размещения микросхемы на контрастном фоне. Оператор должен выделить область интереса, содержащую микросхему, после чего могут применяться те или иные подходы к обработке изображения.

Если, например, изображение с микросхемой не содержит других элементов, имеющих ярко выраженные угловые точки, то для выделения точек интереса могут использоваться хорошо известные детекторы особых точек: детектор Харриса [4], Трайковича [5], SUSAN [6] и др. Следует, однако, учесть, что микросхема может содержать различные надписи и маркировку. В этом случае могут быть выделены точки не только на углах, но и внутри микросхемы. Эти точки можно убрать автоматически, анализируя их взаимное геометрическое местоположение, или воспользовавшись алгоритмом построения минимального по площади прямоугольника, включающего заданный набор точек. Другой вариант состоит в том, чтобы представить оператору возможность самому удалить лишние точки по одной, или же указав содержащую их область изображения.

Альтернативой использованию детекторов особых точек может служить выделение прямых линий [7]. При корректном задании зоны интереса точки пересечения 4 самых выраженных линий позволит получить координаты углов микросхемы.

Наконец, еще один подход заключается в применении контурного анализа [2, 3, 7], что, однако, сопряжено с необходимостью проработки процедуры отбрасывания заведомо ложных контуров и их фрагментов.

Компенсация дрожаний и сдвигов платы в процессе установки

Одна из основных проблем состоит в смещении (дрожании) печатной платы после того, как сконфигурированы все реперные рамки. В этом случае положение реперных рамок перестает соответствовать их исходному положению на плате. Таким образом, необходимо оценивать дрожание печатной платы, т.е. величину сдвига изображения в пикселях, и компенсировать положение реперных рамок 1 и 2.

Известно достаточно большое число подходов к оценке параметров геометрических преобразований изображений. Благодаря высокой точности и помехоустойчивости хорошо зарекомендовали себя подходы на основе корреляционного совмещения изображений [3, 7,

8]. Хорошо известен алгоритм фазовой корреляции [3, 9], который позволяет значительно сократить затраты на совмещения изображений за счет перехода в область пространственных частот. Как известно, при смещении изображения вдоль осей появляется фазовая задержка, пропорциональная величине сдвига, амплитудный спектр изображения при этом не изменяется. Именно это свойство лежит в основе алгоритма фазовой корреляции, а добавление процедуры субпиксельного поиска положения точки наилучшего совмещения делает алгоритм исключительно точным. Заметим, что нет необходимости выполнять обработку всего изображения. Во-первых, можно ограничиться только его центральной частью небольшого размера (например, 256x256 пикселей). Во-вторых, можно отбросить информацию о цвете и использовать полутоновое изображение указанного фрагмента. Эксперименты, проведенные на натуральных сюжетах, показали, что алгоритм фазовой корреляции обеспечивает точность оценки смещений в пределах до 0,05 пикселей, при этом время выполнения алгоритма на ЭВМ Intel(R) Core(TM) i7-7700 CPU @ 3.60GHz, с 16 Гб оперативной памяти занимает не более 1 мс.

При повороте изображения относительно геометрического центра происходит такой-же поворот его амплитудного спектра. Поэтому при необходимости отслеживать повороты может использоваться модификация алгоритма фазовой корреляции [3, 9]. Для этого необходимо перевести логарифм амплитудного спектра в полярную систему координат и оценивать поворот отдельно от сдвига. В случае, когда центр вращения не совпадает с оптической осью видеокамеры, можно воспользоваться другими технологиями обработки изображений. Учитывая, что печатные платы имеют множество контрастных элементов, можно, например, оценивать аффинные преобразования путем выделения и сопоставления особых точек изображений, получаемых при помощи таких методов как SIFT [10], SURF [11], ORB [12] и др.

Заключение

Высокоточный монтаж на печатную плату BGA-компонент при мелкосерийном или опытном производстве, в ходе проведения ремонтно-восстановительных работ представляет собой довольно трудоемкую задачу, требующую от оператора повышенного внимания и точности работы. Как показано в докладе, применение известных и хорошо зарекомендовавших себя технологий обработки изображений в данной задаче позволило бы существенно ускорить и повысить точность монтажа BGA-компонент, снизив при этом утомляемость оператора и, как следствие, уменьшив вероятность ошибки и брака. Таким образом, применение технологий обработки изображений при монтаже BGA-компонент способствует решению задачи повышения производительности труда, которую как одну из основных ставит перед страной необходимость соответствия мировому уровню экономического развития.

Библиографический список

1. Курносенко А. Видеоустановщик ВП-750.3 и инфракрасная система пайки ИК-650 ПРО для решения задачи по монтажу компонентов BGA. – Технологии в электронной промышленности. – 2016. – №7. – С.43-45
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений // М.: Техносфера. – 2005. – 1072 с.
3. 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.: ил.
4. Harris C., Stephens M. A combined corner and edge detector // Alvey vision conference. – 1988. – Vol. 15. – №. 50. – P. 10.5244.
5. Trajković M., Hedley M. Fast corner detection // Image and vision computing. – 1998. – Vol. 16. – №. 2. – P. 75-87.
6. Smith S. M., Brady J. M. SUSAN – a new approach to low level image processing // International journal of computer vision. – 1997. – Vol. 23. – №. 1. – P. 45-78
7. Визильтер Ю. В. и др. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. – 2010. – 672 с.
8. Баклицкий В. К., Бочкарев А. М., Мусьяков М. П. Методы фильтрации сигналов в корреляционно-экстремальных системах навигации. - М.: Радио и связь. – 1986. – 216 с.

9. Reddy B. S., Chatterji B. N. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration //IEEE transactions on image processing. – 1996. – Vol. 5. – №. 8. – P. 1266-1271.
10. Lowe D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints //International journal of computer vision. – 2004. – Vol. 60. – №. 2. – P. 91-110.
11. Bay H. et al. Speeded-up robust features (SURF) //Computer vision and image understanding. – 2008. – Vol. 110. – №. 3. – P. 346-359.
12. Rublee E. et al. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF // IEEE international conference on Computer Vision (ICCV). – 2011. – P. 2564-2571.

УДК 62-526; ГРНТИ 50.43.17

РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO С ПРИМЕНЕНИЕМ MATLAB И SIMULINK

Н.С. Лактюшин, В.В. Стротов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, laktushinnikita@rambler.ru*

Аннотация. В данной работе описана реализация управления униполярным шаговым двигателем с помощью микроконтроллера для системы позиционирования объекта на плоскости, приведено её краткое описание.

Ключевые слова. Управление шаговым двигателем, MATLAB, Simulink, Arduino.

IMPLEMENTATION OF STEER MOTOR CONTROL ON THE ARDUINO PLATFORM BASED WITH MATLAB AND SIMULINK APPLICATIONS

N.S. Laktyushin, V.V. Strotov

*Ryazan State Radio engineering University,
Ryazan region, Ryazan, laktushinnikita@rambler.ru*

Abstract. In this paper, we describe the implementation of the control of a unipolar stepper motor with the help of a microcontroller for the object positioning system on the plane, here is a brief description.

Keywords. Stepper motor control, MATLAB, Simulink, Arduino.

Введение

Роботизированные системы управления, как правило, включают в себя исполнительные механизмы, такие как двигатели постоянного тока, сервоприводы, шаговые двигатели и другие. Кроме того, необходимо использовать сенсоры, например, видеодатчики, термометры, тензодатчики, концевые выключатели.

Выбор двигателей для системы управления – это очень важный этап в проектировании системы управления. В разных задачах могут потребоваться разные качества двигателей, такие как надёжность, мощность, скорость, точность позиционирования выходного вала, обратная связь. Проектировщик системы должен выбрать оптимальный двигатель для своей задачи, учитывая бюджет.

Для несложных систем управления в качестве регулятора, в настоящее время, удобно использовать платформу Arduino (см. Рисунок 1 (а)). Arduino — это платформа для разработки автоматических систем управления, регулирования на базе микроконтроллера. Например, Arduino UNO выполнена на базе процессора ATmega328p с тактовой частотой 16 МГц, обладает памятью 32 кБ и имеет 20 контролируемых контактов ввода и вывода. Благодаря удобству и простоте языка программирования, а также открытой архитектуре и программному коду, Arduino пользуется огромной популярностью во всем мире [1].

Принцип выбора двигателя

Чтобы выбрать подходящий двигатель, необходимо анализировать поставленную перед ним задачу. В работе исследуется двумерная система позиционирования объекта на плоскости, управляемая двумя двигателями (см. Рисунок 1 (б, в)) [2,3]. Точность позиционирования шарика напрямую зависит от точности позиционирования платформы, а значит и от точности позиционирования выходных валов двигателей. Поэтому сигналы с контроллера должны быть максимально точно и быстро обработаны.

Рассмотрим бюджетный аналоговый сервопривод MG995, который имеет в своём составе коллекторный двигатель. Параметры двигателя приведены в таблице 1.

В состоянии покоя на электромотор не подаётся напряжение, в случае небольшого отклонения от равновесия на электромотор подаётся короткий сигнал малой мощности. Чем больше отклонение, тем мощнее сигнал. Таким образом, при малых отклонениях сервопривод не сможет быстро вращать мотор или развивать большой момент. Образуются «мёртвые зоны» по времени и расстоянию. Это один из решающих факторов в исследуемой бюджетной следящей системе управления.

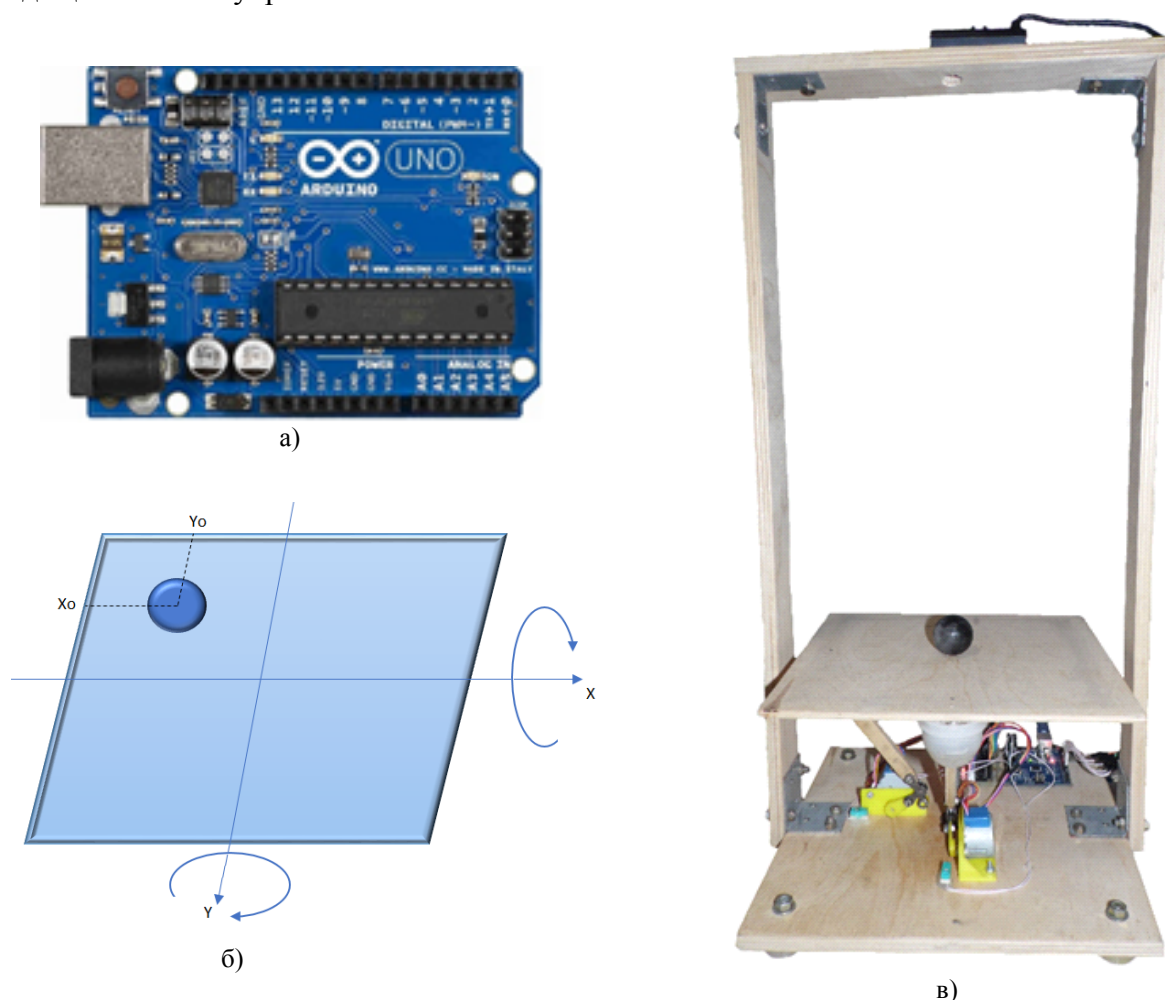


Рис. 1. Двумерная система позиционирования объекта на плоскости на базе Arduino UNO
(а) – Arduino UNO, (б) – схема установки, (в) – общий вид установки

Для реализации систем точного позиционирования, кроме использования сервоприводов, можно использовать шаговые двигатели. Как правило, такие двигатели управляются импульсами, т.е. импульс преобразуется в градус, на который происходит вращение выходного вала. Шаговые двигатели – это многофазные моторы. Чем больше фаз, тем больше шагов необходимо сделать двигателю за оборот и тем он дороже.

Существенный недостаток заключается в отсутствии обратной связи и пропуске шагов. Пропуск шагов может происходить, когда нагрузка для двигателя велика, а так же, если управляющие импульсы очень частые. Таким образом, появляется ещё один недостаток для системы управления – скорость вращения ротора. Некоторые недостатки можно компенсировать, если ввести обратную связь.

Сервопривод и шаговый двигатель не являются конкурентами, а каждый занимает свою определенную нишу. Как известно, сервоприводы гораздо дороже шаговых двигателей при сравнимых параметрах.

Характеристики шагового двигателя 28BYJ-48 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение параметров серводвигателя и шагового двигателя

Параметр	Серводвигатель MG955	Шаговый двигатель 28BYJ-48
Крутящий момент	13 кг/см (4.8В)	0,3 кг/см
Рабочая скорость	0.17 сек/60° (4.8 В без нагрузки)	0,4 сек/60°
Рабочее напряжение	4.8-7.2 В	5 В
Размер	40 мм x 19 мм x 43 мм	40 мм x 28 мм x 29 мм

Реализация управления униполярным шаговым двигателем с помощью Arduino, Matlab и Simulink

Управление шаговым двигателем 28BYJ-48 реализовано методом полушага для более точного позиционирования. При таком управлении питание подается сначала на обмотку А, затем на А и В, затем на В и т.д. (см. Рисунок 3). Для реализации такого управления была разработана схема управления, показанная на рисунке 2 (а), собранная в Simulink. Загрузка управляющего кода в Arduino осуществляется с помощью пакета Embedded Coder Target for Arduino. В качестве драйвера для управления был использован драйвер ULN2003.

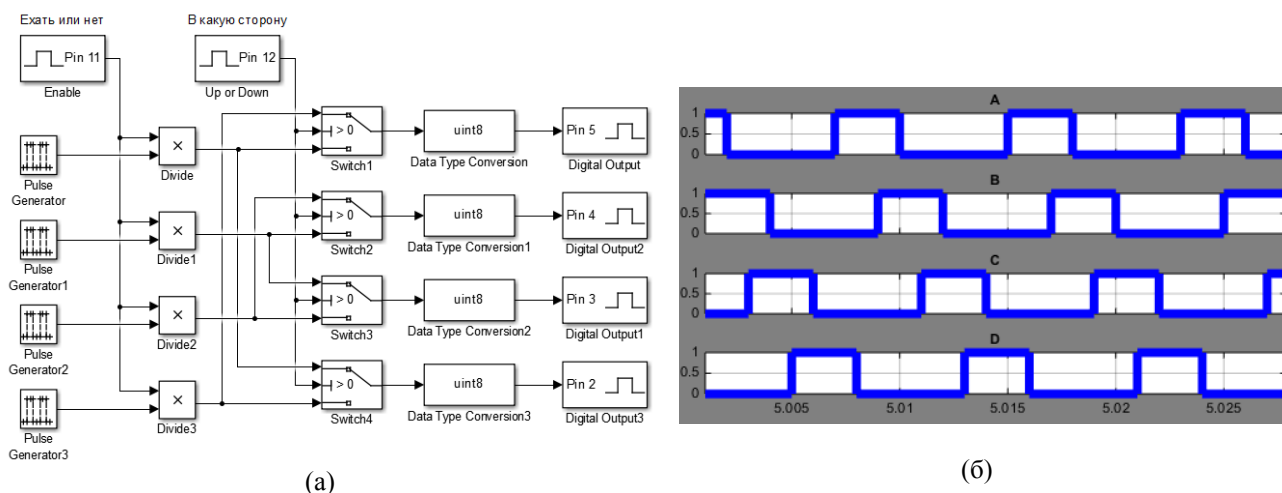


Рис. 2. Полушаговый метод управления шаговым двигателем с 4 управляющими обмотками

(а) – реализация метода в Simulink

(б) – временные диаграммы выхода модели

Для управления схемой, приведённой на рисунке 2 (а), необходимо генерировать два сигнала: переключать ли обмотки двигателя и в каком порядке (прямом или обратном). Скорость переключения обмоток постоянна. Таким образом необходимо спроектировать схему управления, показанную на рисунке 3:

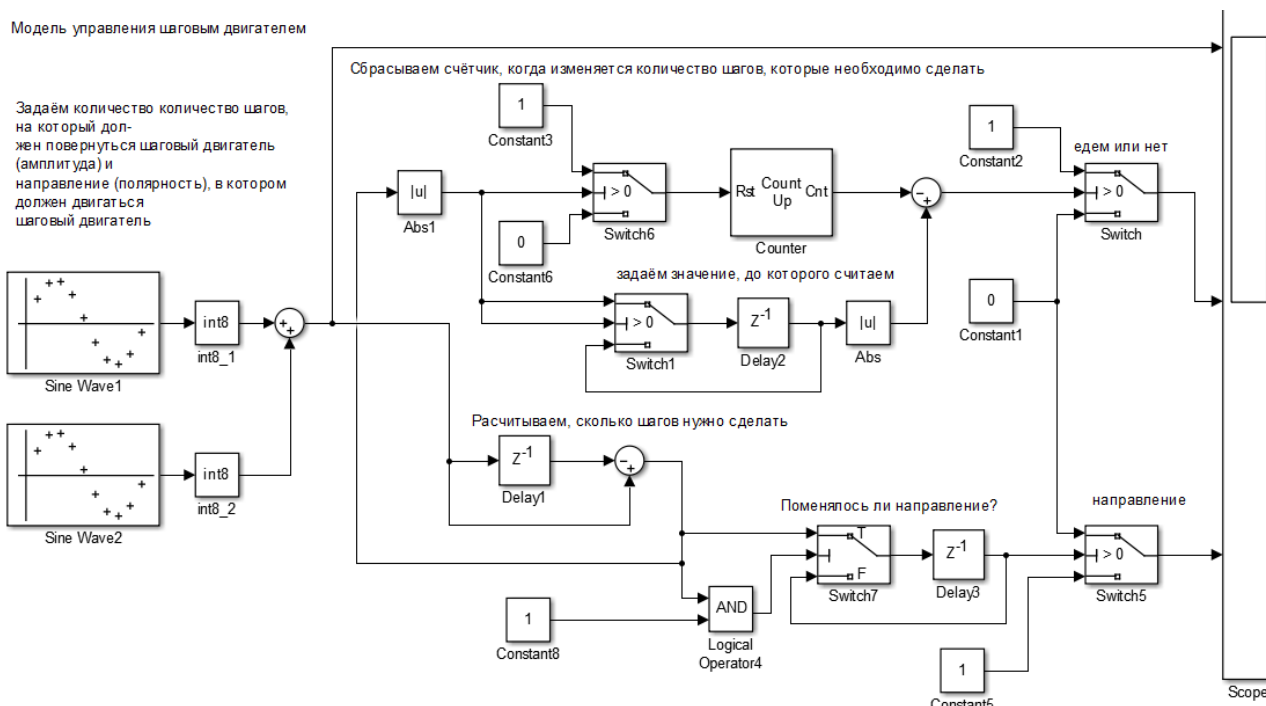


Рис. 3. Схема управления шаговым двигателем

Входным сигналом является количество шагов, которое необходимо сделать двигателю. Знак этого числа указывает на направление. Таким образом, такой схемой можно управлять, например, ПИД-регулятором из стандартной библиотеки Simulink. Схема постоянно отслеживает управляющие воздействия и корректирует управление, поэтому если изменится выход регулятора, то двигатель не будет проходить заданное количество шагов на предыдущей итерации, а пересчитает выходные управляющие сигналы. Входные и выходные диаграммы работы схемы показаны на рисунке 4:

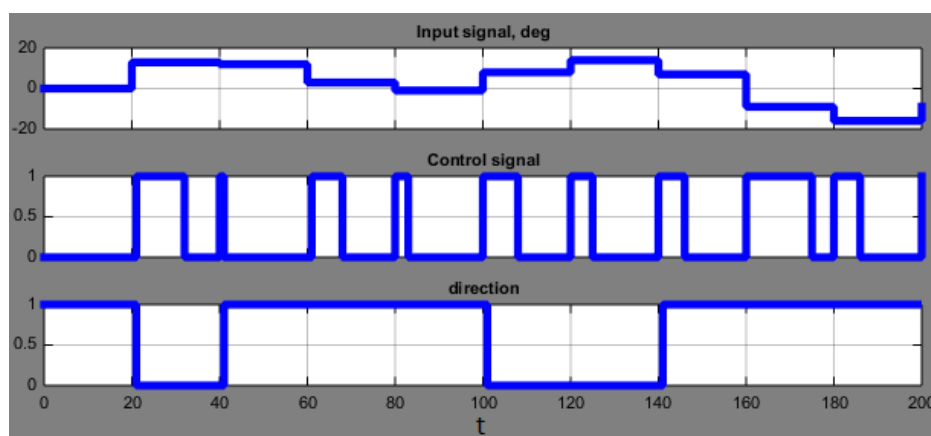


Рис. 4. Входные и выходные диаграммы работы схемы управления шаговым двигателем

Для того, чтобы оценить, в каком положении находится шаговый двигатель, в исследуемой системе установлены два конечных датчика для начальной инициализации. При включении двигателя не начинают работу, пока их роторы не окажутся в исходном положении. Таким образом, можно оценить их положение.

Результаты сравнения отслеживания малых углов шаговым двигателем и серводвигателем показаны на рисунке 5. На результаты измерений влияли собственные шумы АЦП Arduino. В качестве датчика обратной связи был применён потенциометр на 20 кОм.

Для работы с серводвигателем была использована стандартная библиотека Arduino Support from Simulink. Скорость обмена по последовательному интерфейсу составляла 115200 бит/с.

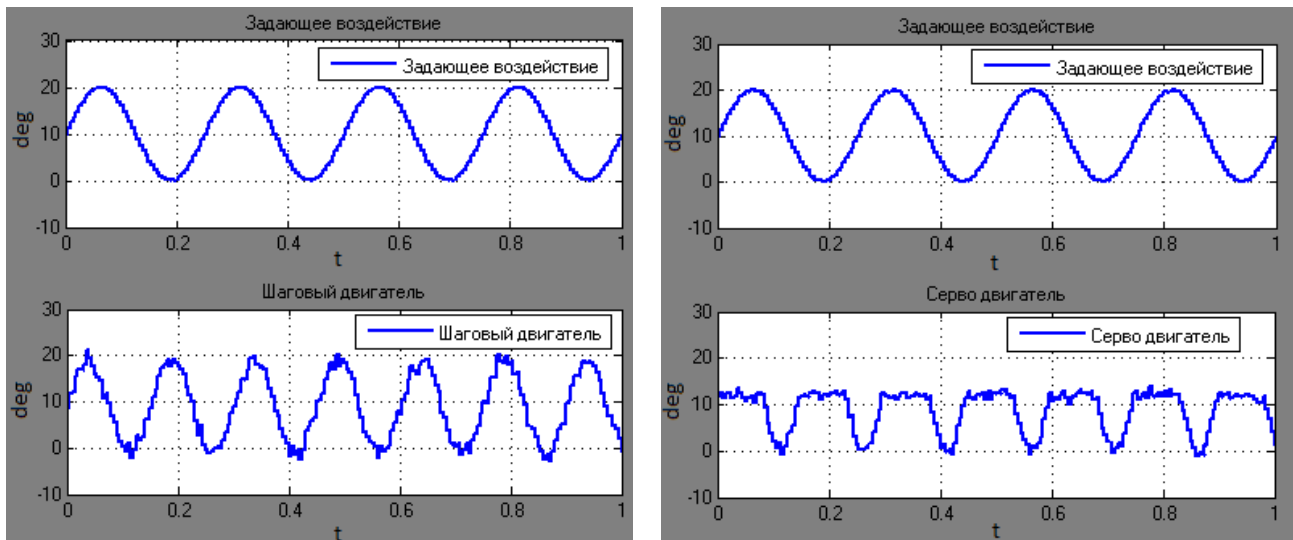


Рис. 5. Сравнение отслеживания малых углов шаговым двигателем и серводвигателем

(а) Результат работы шагового двигателя

(б) Результат работы серводвигателя

Выводы

В работе рассмотрена двумерная система позиционирования объекта на плоскости. Приведено сравнение двух двигателей: шагового двигателя и серводвигателя. Исследования показали, что наиболее пригодным для решения поставленной задачи стал бюджетный шаговый двигатель, т.к. точность позиционирования платформы возросла в связи с тем, что у шагового двигателя нет «мёртвой зоны». Аналоговый бюджетный серводвигатель не реагирует на малые входные сигналы при той же нагрузке. При номинальном напряжении питания и нагрузке шаговый двигатель не пропускает шагов.

Таким образом, удалось добиться необходимого качества управления целевой платформы, несмотря на то, что выбранный двигатель менее скоростной и без полной обратной связи.

Библиографический список

1. Arduino? [Электронный ресурс]. URL: <http://arduino.ru/> (дата обращения 8.02.2018)
2. Н.С. Лактюшин, А.Р. Гадельшин, В.В. Стротов. Разработка метода выделения и сопровождения объекта для системы позиционирования шара на плоскости с двумя степенями свободы. //Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2017. Сборник трудов II международной научно-технической и научно-методической конференции: в 8 томах / Рязанский государственный радиотехнический университет; под общей редакцией О.В. Миловзорова. 2017. – Т. 4.; Рязань. – С.99-102.
3. Лактюшин Н.С. Разработка метода определения координат объекта для системы позиционирования шара на плоскости с двумя степенями свободы. Новые информационные технологии в научных исследованиях НИТ-2017. XXII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов. Труды конференции. Рязань, Рязанский государственный радиотехнический университет.- 2017.- С. 217-219.

УДК 581.3; ГРНТИ 50.09.37

АЛГОРИТМ КАЛИБРОВКИ ВИДЕОДАТЧИКОВ СТЕРЕОСИСТЕМЫ**Д. Э. Крестьянинов, С.Е. Корепанов***Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, worlan85@gmail.com**Аннотация.* В докладе рассмотрен алгоритм калибровки видеодатчиков стереосистемы, приведены результаты экспериментальных.*Ключевые слова.* Алгоритм калибровки, видеодатчик, стереосистема.**ALGORITHM OF CALIBRATION VIDEOSENSORS OF STEREOSYSTEM****D. E. Krestyaninov, S.E. Korepanov***Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, worlan85@gmail.com**Abstract.* In the report the algorithm of calibration of video sensors of a stereo system is considered, results of experimental researches are given.*Keywords.* Algorithm of calibration, video sensors, stereosystem.**Введение**

Стереосистемы технического зрения, являются наиболее перспективным направлением развития систем технического зрения. Они позволяют формировать более информативное представление об окружающей среде, решать задачи с более высокой точностью и функциональностью, чем системы, использующие один видеодатчик. Первоначальной задачей при проектировании стереосистем технического зрения является задача калибровки видеодатчиков. В результате её решения удаётся получить информацию о внутренних параметрах устройств регистрации изображения, а также информацию о внешних параметрах самой системы. Полученная информация используется при решении последующих задач, для которых используется данная система технического зрения.

Постановка задачи

Калибровка видеодатчика включает в себя выбор типа модели камеры, численных алгоритмов поиска параметров модели и объекта калибровки [1]. Для описания видеодатчика используется проективная модель, предполагающая, что изображение получается путем проецирования объекта в плоскость изображения через точку, называемую центром проекции камеры [2]. Операция проецирования описывается с помощью матрицы внутренних параметров камеры

$$A = \begin{bmatrix} f/w & 0 & u_0 \\ 0 & f/h & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где f – фокусное расстояние объектива;

w и h – масштабы вдоль осей Ox и Oy соответственно;

u_0, v_0 – координаты главной точки относительно начала координат видеодатчика (в системе координат видеодатчика).

В качестве внешних параметров стереоскопической системы принимаются матрица поворота R и вектор переноса t :

$$R = R_\alpha \cdot R_\beta \cdot R_\gamma; \quad (2)$$

$$t = (t_x, t_y, t_z)^T, \quad (3)$$

где $R_\alpha, R_\beta, R_\gamma$ – матрицы поворота вокруг осей Ox, Oy, Oz на углы α, β, γ ;

t_x, t_y, t_z – значения переноса вдоль осей Ox, Oy, Oz ;

T – знак транспонирования.

Данные параметры отражают расположение видеодатчиков относительно друг друга.

Алгоритм калибровки видеодатчиков стереосистемы по методу Zhengyou Zhang

Калибровка камеры в данном случае осуществляется методом, предложенным Zhengyou Zhang [2]. Согласно нему, калибруемая камера должна наблюдать за плоским объектом (калибровочным объектом), регистрируя его положение с нескольких сторон. В данном случае в качестве калибровочного объекта выступает шахматная доска. Вычисление внутренних параметров матрицы A происходит в результате вычисления проективного преобразования между элементами шахматной доски на изображении, получаемым с помощью камеры, и элементами математической модели.

Задача калибровки стереоскопической системы состоит в определении матрицы R , вектора t и матрицы A каждой камеры. Математическая модель калибровочного объекта и его изображения на снимках связаны выражением [3]:

$$sm = HM, \quad (4)$$

где $H = A[r_1 \ r_2 \ t]$ – матрица перспективного преобразования (гомографии) изображения, получаемая путем сопоставления математической модели калибровочного объекта и его изображения на снимках;

r_i – i -ый столбец матрицы вращения видеодатчика;

$M(X, Y, 1)^T$ – точка математической модели калибровочного объекта;

$m(x, y, z)^T$ – точка калибровочного объекта на изображении;

s – некоторая константа.

Обозначив матрицу проекции $H = [h_1 \ h_2 \ h_3]$, выражение (4) примет вид:

$$[h_1 \ h_2 \ h_3] = \lambda[r_1 \ r_2 \ t], \quad (5)$$

где λ – скаляр. Используя, что r_1 и r_2 ортогональны, получаем

$$h_1^T A^{-T} A^{-1} h_2 = 0; \quad (6)$$

$$A^{-T} A^{-1} h_1 = h_2^T A^{-T} A^{-1} h_2. \quad (7)$$

Положим, что $B = A^{-T} A^{-1}$. Представим матрицу B в виде 6 – мерного вектора

$$b = [B_{11}, B_{12}, B_{22}, B_{13}, B_{23}, B_{33}]^T, \quad (8)$$

Обозначив i -тый вектор-столбец H через $H = [h_{i1}, h_{i2}, h_{i3}]$. Тогда

$$h_i^T B h_j = v_{ij}^T b, \quad (9)$$

где $v_{ij} = [h_{i1}h_{j1}, h_{i2}h_{j2} + h_{i2}h_{j1}, h_{i2}h_{j2}, h_{i3}h_{j1} + h_{i1}h_{j3}, h_{i3}h_{j2} + h_{i2}h_{j3}, h_{i3}h_{j3}]^T$.

В связи с этим выражения (4) и (6) записываются как два однородных уравнения:

$$\begin{bmatrix} v_{12}^T \\ (v_{11} - v_{22})^T \end{bmatrix} b = 0. \quad (10)$$

Если имеется n изображений плоскости объекта, то составляя n таких уравнений как (10) мы имеем:

$$Vb = 0. \quad (11)$$

где V - $2 \times 6n$ матрица.

Как только вектор b однозначно определен, то внутренние параметры видеодатчика вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} v_0 &= \frac{B_{12}B_{13} - B_{11}B_{23}}{B_{11}B_{22} - B_{12}^2}; \\ \lambda &= B_{33} - [B_{13}^2 + v_0(B_{12}B_{13} - B_{11}B_{23})]/B_{11}; \\ \alpha &= \sqrt{\lambda/B_{11}}; \\ \beta &= \sqrt{\lambda B_{11}/(B_{11}B_{22} - B_{12}^2)}; \\ \gamma &= -B_{12}\alpha^2\beta/\lambda; \\ u_0 &= cv_0/\alpha - B_{13}\alpha^2/\lambda. \end{aligned} \quad (12)$$

Внешние параметры видеодатчиков вычисляются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} r_1 &= \lambda A^{-1}h_1; \\ r_2 &= \lambda A^{-1}h_2; \\ r_3 &= r_1 \times r_2; \\ t &= \lambda A^{-1}h_3. \end{aligned} \quad (13)$$

Оценка калибровочных параметров производится согласно формуле (14):

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^m \|m_{ij} - \tilde{m}(A, R_i, t_i, M_j)\|^2, \quad (3.14)$$

где m_{ij} — координаты точек функции калибровочного объекта на изображении;
 $\tilde{m}$ — координаты восстановленных точек функции калибровочного объекта, на основании найденных калибровочных параметров стереосистемы.

Проведение эксперимента

Экспериментальный стенд включает в себя два web-камеры **Defender C-110** (рис. 1) с разрешением 640×480 пикселей, расстояние между камерами 90,5 мм, фокусное расстояние оптической системы камеры 3,85 мм. Тестовый объект представляет собой шаблон шахматной доски, состоящей из 8×7 чередующихся черных и белых квадратов (рис. 2), при этом размер квадрата составляет 23×23 мм. Оба датчика регистрируют тест-объект в шести произвольных положениях на трёх дистанциях. В качестве опорных точек, по которым вычисляется проективное преобразование математической модели калибровочного объекта и калибровочного объекта на изображениях, выступают узлы шахматной доски. Математическая модель создается согласно параметрам реальной шахматной доски, используемой для калибровки. После получения набора изображений проводится определение координат узлов шахматной доски, после чего выполняется калибровка стереосистемы. Данный алгоритм реализован с помощью пакета прикладных программ «Matlab 2016». В качестве этало-

на шаблона шахматной доски выступает модель, созданная в пакете Matlab при помощи функции «checkerboard».



Рис. 1. Экспериментальный стенд стереосистемы



Рис. 2 – Изображения шаблона шахматной доски с левой (а) и правой (б) камер

Результаты работы программы выглядит следующим образом:

Внутренние параметры камеры 1

Фокусное расстояние (пикс.): [800.2010 +/- 4.2275 798.1926 +/- 4.0926]

Основные точки (пикс): [305.6534 +/- 6.9680 189.2442 +/- 1.9857]

Радиальная дисторсия: [-0.1577 +/- 0.0396 2.2307 +/- 0.2482]

Внешние параметры камеры 1:

Матрица поворота R:

[0.0461 +/- 0.0031	-0.0227 +/- 0.0091	-0.0112 +/- 0.0004]
[-0.1011 +/- 0.0029	0.5839 +/- 0.0089	-0.0078 +/- 0.0010]
[-0.0535 +/- 0.0026	-0.5702 +/- 0.0087	0.0081 +/- 0.0008]
[-0.1367 +/- 0.0029	-0.8426 +/- 0.0088	-0.0130 +/- 0.0013]
[-0.1434 +/- 0.0030	0.7014 +/- 0.0086	0.0081 +/- 0.0015]
[-0.0143 +/- 0.0043	0.5303 +/- 0.0094	-0.0388 +/- 0.0012]

Вектора переноса t (мм):

[17.8451 +/- 4.6573	-72.5765 +/- 1.3347	533.7289 +/- 2.7682]
[35.9121 +/- 5.0791	-72.9705 +/- 1.4451	582.2231 +/- 2.8894]
[-5.3754 +/- 4.5709	-75.0657 +/- 1.2993	523.7271 +/- 2.8987]
[-10.1702 +/- 11.0950	-30.9178 +/- 3.1702	1274.3775 +/- 6.7795]
[-75.0000 +/- 11.9182	-24.7922 +/- 3.4028	1370.3560 +/- 6.8153]
[-25.6704 +/- 15.9812	4.5607 +/- 4.5669	1835.6294 +/- 9.3675]

Внутренние параметры камеры 2

Фокусное расстояние (пикс.): [789.4910 +/- 4.2423 790.9274 +/- 4.1354]

Основные точки (пикс.): [315.5711 +/- 2.3954 208.3520 +/- 3.1349]

Радиальная дисторсия: [-0.2328 +/- 0.0538 6.1713 +/- 1.0867]

Расположение и ориентация камеры 2 по отношению к камере 1

Поворот камеры 2: [0.0151 +/- 0.0044 -0.0056 +/- 0.0090 -0.0114 +/- 0.0003]

Перенос камеры 2 (мм): [-91.7256 +/- 0.0926 0.9487 +/- 0.0642 2.0788 +/- 1.1388]

Диаграмма ошибок восстановления точек калибровочного объекта для каждой пары изображений представлены на рисунке 3.

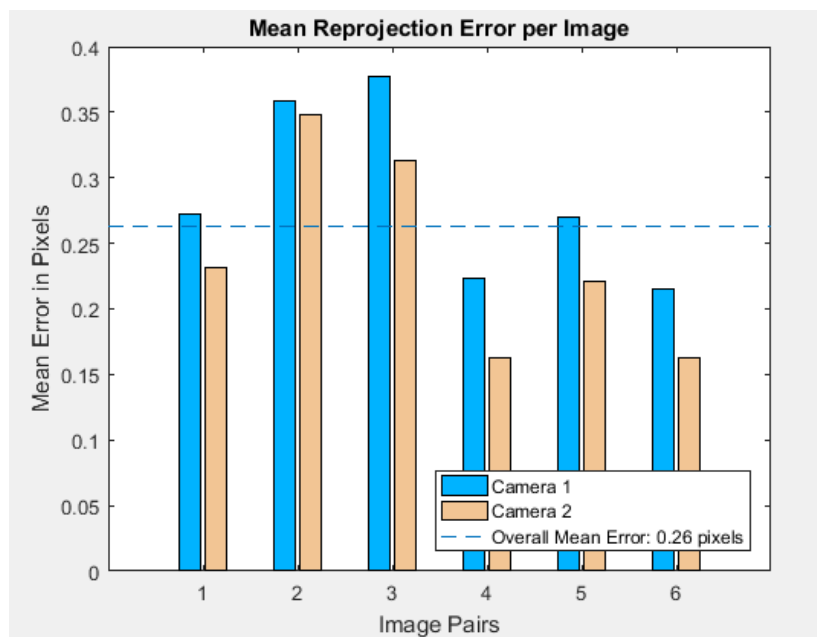


Рис. 3. Ошибки восстановления на изображениях

Среднее значения ошибки восстановления положения точек калибровочного объекта составляет 0.26 пикселя.

Выводы

На основании рассмотренного метода калибровки видеодатчика было проведено экспериментальное вычисление параметров калибровки стереосистемы. Для получения более точных результатов количество изображений для калибровки, содержащих тестовый объект в виде шаблона шахматной доски, можно увеличить.

Библиографический список

1. Armangue X., Salvi J., Battle J. A comparative review of camera calibrating methods with accuracy evaluation // Pattern Recognition. – 2002. – Vol. 35 (7). – P. 1617–1635.
2. Zhengyou Zhang. Flexible Camera Calibration By Viewing a Plane From Unknown Orientations. Microsoft Research, 1999 г.
3. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. Цифровая обработка изображений в информационных системах. Новосибирск: НГТУ, 2002. 352 с.

СЕКЦИЯ «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 621.396; ГРНТИ 49.37.33

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ВРЕМЕННЫХ МЕТОК РЕЗЕРВНОГО ПРОГРАММНО-ВРЕМЕННОГО БЛОКА

В. Новиков, А. Балдин

*Рязанский государственный радиотехнический университет, Рязань
novikov.v.a.48@yandex.ru*

Аннотация. В ходе работы разработан генератор временных меток резервного программно-временного блока. Созданный генератор предназначен для формирования временных меток автономной системы управления движением и навигацией (СУДН) космического аппарата, предназначенного для выработки команд по предотвращению баллистического спуска.

Ключевые слова. Резервный программно-временной блок, генератор временных меток, космический аппарат, программируемая логическая интегральная схема, кодовая комбинация, компаратор, протокол JTAG.

DEVELOPMENT OF THE GENERATOR TIMESTAMP BACKUP PROGRAM-TIME BLOCK

V. Novikov, A. Baldin

*Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan
novikov.v.a.48@yandex.ru*

Annotation. During the work developed by the generator bremen match of the reserve programs of the bremen block. Soda generator designed to match the formation of the bremen Autonomous systems traffic control and navigation (the sun) spacecraft, designed to generate commands to prevent ballistic spy.

Keyword. Book programs-Bremen block, Bremen match generator, Cosmic apparatus, logic programmer integrated circuit, combining code, comparator, JTAG interface Protocol

Введение

Маневрирование на орбите, т.е. смена орбиты космического аппарата (КА), является важной задачей космической механики. Маневры на орбите могут проводиться как под управлением оператора с Земли, так и под автономным управлением бортового компьютера КА.

Для маневрирования на орбите в неавтономном режиме на КА передаются команды управления по радиоканалу. Поскольку на трассе «КА - Земля» возможны искажения команд либо даже полное их непрохождение, автономные системы управления КА принимают на себя управление по заранее заданной программе с помощью аппаратуры, размещаемой на самом объекте. Для формирования команд управления в этих системах не используются сигналы, которые могут поступать с пункта управления.

В данной работе выполнена разработка резервного программно-временного блока для автономной системы управления движением и навигацией (СУДН) КА, предназначенного для выработки команд по предотвращению баллистического спуска [0].

Актуальность разработки подтверждается возникновением опасных ситуаций для здоровья и жизни космонавтов при посадке КА по баллистической траектории. Так, например, 21 октября 2007 года спускаемая капсула корабля "Союз ТМА-10", на которой возвращались члены 15-й экспедиции МКС, перешла из управляемого режима в баллистический спуск. Капсула приземлилась в 70 километрах от запланированного места посадки, космонавты испытали перегрузки до 10 g (т.е. вес тела космонавта увеличился в 10 раз).

Разработка структурной схемы РПВБ

Функционально РПВБ состоит из трех идентичных друг другу каналов: А, Б и В (рис. 1), которые формируют все требуемые выходные сигналы длительностью 250 мс. Каналы имеют независимое питание и управление.

Каждый канал состоит из функционального блока вторичного питания (БВП), функционального блока синхронизации (БС), генератора временных меток (ГВМ), функциональных блоков входных (БВХК) и выходных команд (БВЫХК).

Функцией БВП является обеспечение питанием всех узлов соответствующего канала РПВБ. Формируются напряжения ($5 \pm 0,5$) для запитывания всех генераторов временных меток, блоков входных команд и блока синхронизации. Напряжение (+15в) используется для запитывания блоков выходных команд.

Генератор временных меток реализует весь алгоритм работы РПВБ. ГВМ формирует непрерывную последовательность тактовых импульсов, осуществляющих формирование всех временных меток в РПВБ.

БС обеспечивает синхронность работы между 3 каналами, с целью одновременной выдачи выходных сигналов. При этом любой случайный единичный отказ не должен нарушить синхронность выдачи сигналов.

БВХК и БВЫХК предназначен для приема, передачи на ГВМ и выдачи сигналов из РПВБ в систему управления движением и навигации космического аппарата.

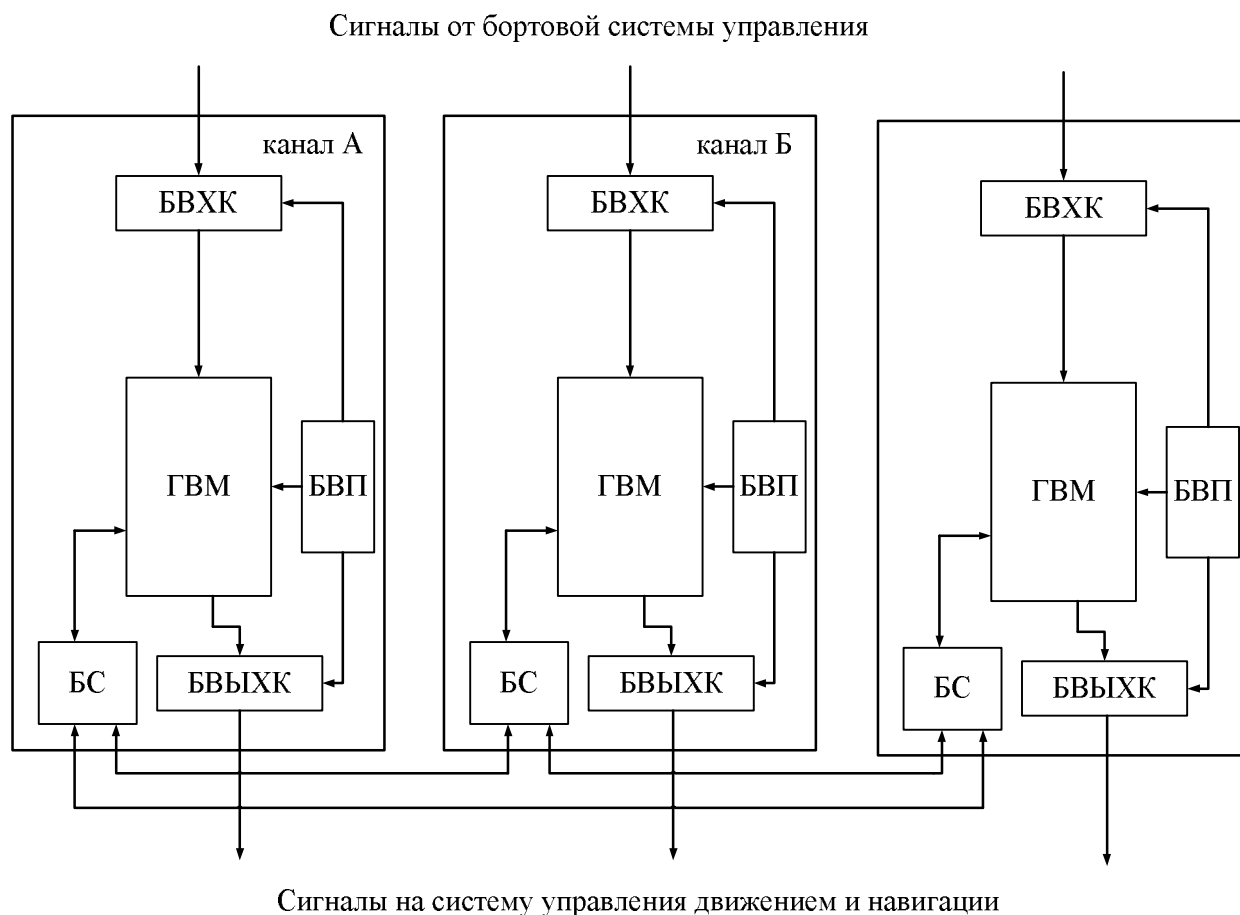


Рис. 1. Структурная схема РПВБ

Разработка структурной схемы ГВМ

Функциональная схема генератора временных меток РПВУ приведена на рисунке 2. При реализации генератора меток РПВУ на ПЛИС средствами языка VHDL каждому блоку функциональной схемы соответствует VHDL-процесс [0].

Высокочастотный сигнал поступает от генератора синхроимпульсов (ГСИ) на блоки делителей 1 и 2, которые преобразуют его в тактовые сигналы типа «меандр» с частотой 1 Гц и 1 кГц соответственно, что позволяет далее их использовать как счетные импульсы для измерения секунд и миллисекунд.

Тактовый сигнал с выхода делителя 1 подается на первый счетчик (счетчик секунд) с модулем счета 60 и со служебным входом асинхронного сброса. Выходной 6-разрядный сигнал счетчика с информацией о количестве секунд поступает на компаратор. При перезагрузке счетчика также вырабатывается импульсный сигнал положительной полярности для формирования тактового сигнала для счетчика минут.

Второй счетчик (счетчик минут) работает аналогично первому, за исключением того, что на вход подается сигнал установки минут.

Третий счетчик (счетчик часов). На входе сигнал настройка часов от предыдущего счетчика, и сигнал «сброс». Производит счет от 0 до 23, каждый счет отправляет значения счетчика на компаратор.

Компаратор выполняет сравнение сигналов со счетчиков с моментами времени, заложенные в программах №9 и №11, для формирования сигнала разрешения, формирования метки времени и соответствующей ей четырехразрядной кодовой комбинации.

Счетчик миллисекундных импульсов формирует опорный импульс из входного сигнала разрешения и тактового сигнала с выхода делителя 2 с длительностью, соответствующей кодовой комбинации:

- 125 мс для сигнала сброса (метка «0м»);
- 250 мс для меток программы №9 и №11 (метки «1м» - «10м»).

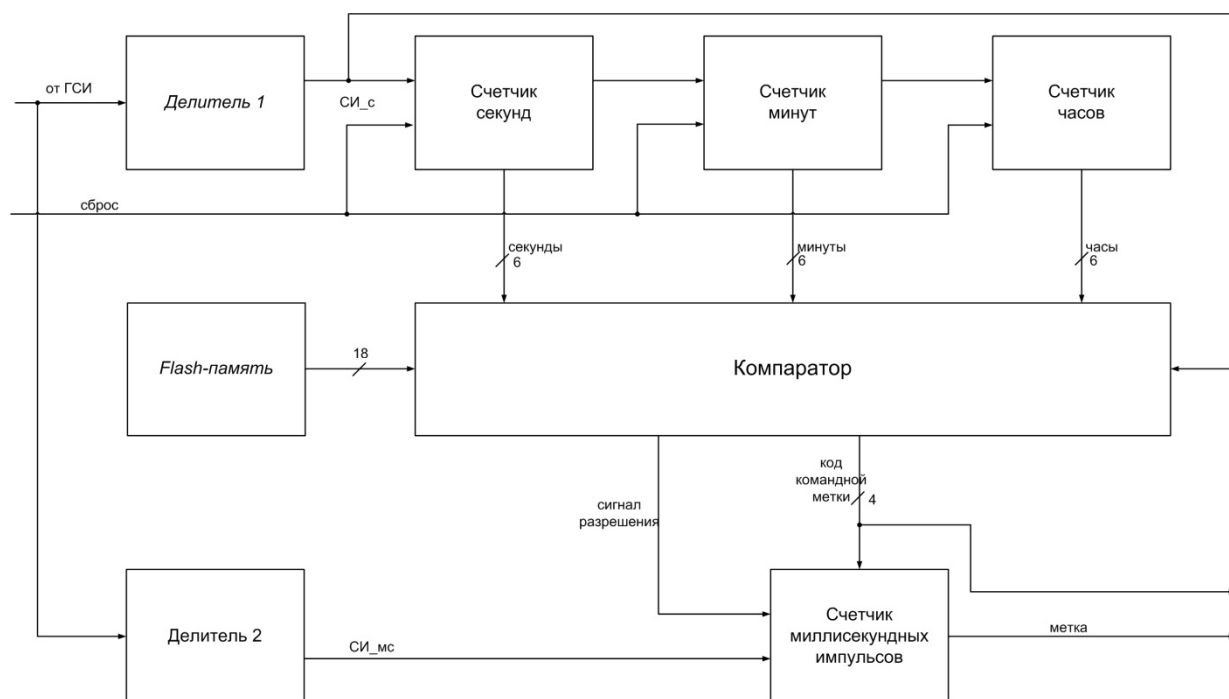


Рис. 2. Функциональная схема генератора временных меток РПВБ

Проверка работоспособности и назначение выходных временных меток

Код программы данного устройства написан с использованием структурного стиля программирования – сложный объект представляется в виде комбинации простых компонент, которые подключаются к проекту верхнего уровня.

Промоделированный в программе Quartus II Software Version 9.0 проект показал, сколько ресурсов данной ПЛИС задействовано (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**), а именно:

- общее количество логических элементов – 219 из 576 возможных, что составляет 38 %;
- общее количество выводов – 7 из 59 возможных, что составляет 12 %.

Flow Status	Successful - Wed May 25 19:26:56 2016
Quartus II Version	9.0 Build 235 06/17/2009 SP 2 SJ Web Edition
Revision Name	RPVU
Top-level Entity Name	RPVU
Family	FLEX10K
Met timing requirements	Yes
Total logic elements	219 / 576 (38 %)
Total pins	7 / 59 (12 %)
Total memory bits	0 / 6,144 (0 %)
Device	EPF10K10LC84-3
Timing Models	Final

Рис. 3. Задействованный ресурс ПЛИС

Экспериментальная часть

Целью экспериментальных исследований является моделирование работы генератора временных меток РПВБ в среде Quartus II Software Version 9.0.

Для проведения эксперимента использовалось следующее оборудование:

- 1) Персональный компьютер с операционной системой Windows 7;
- 2) ПЛИС EPF10K10LC84-3.

Установим время моделирования 3800 секунд, что соответствует 63 минутам. Пусть на делитель 1 поступает сигнал с частотой 2 МГц, тогда коэффициент деления выбираем $N=2000$, а для делителя 2 $N=2$ соответственно.

Модель работы генератора меток по программе №9 представлена на

Рис. 4. Каждой кодовой комбинации соответствует своя временная метка. Метки появляются в интервалы времени, соответствующие техническому заданию (циклограмме) на данное устройство.

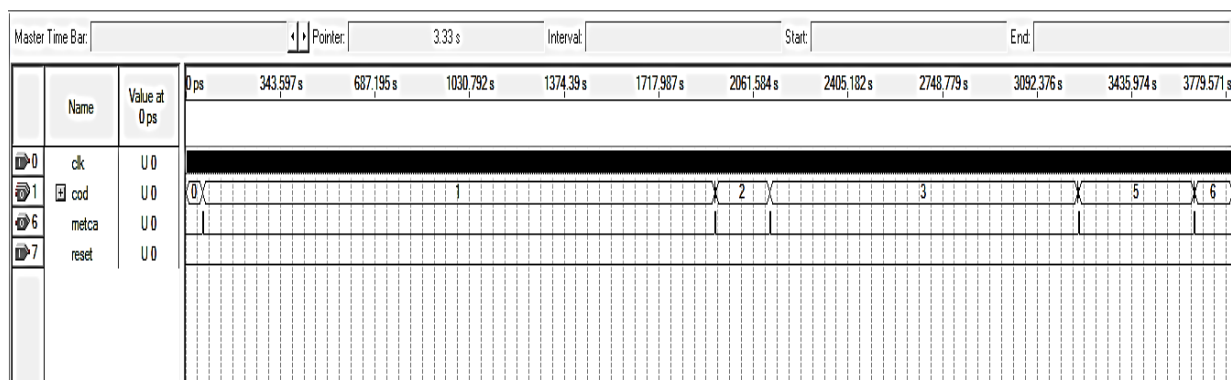


Рис. 4. Модель работы генератора меток по программе №9

Рисунок 5 показывает, что в интервал времени равный 1921 сек = 31 мин вырабатывается метка «2м» длительностью 250 мс и ее 4-х разрядный код 2.

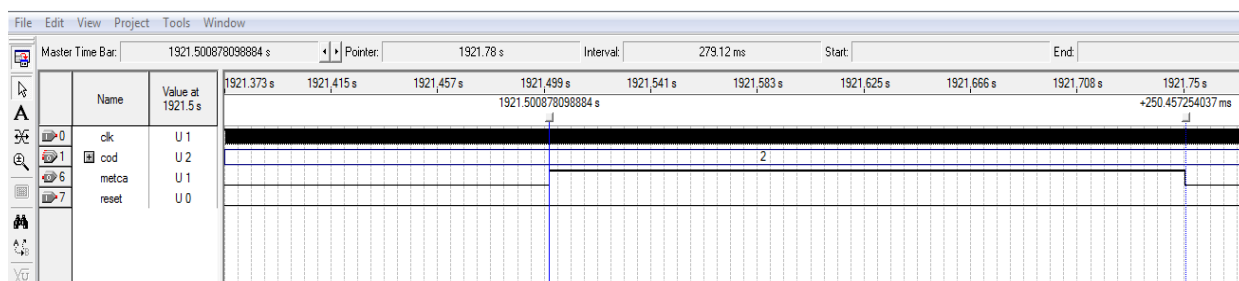


Рис. 2. Выработка метки «2м»

На Рис. представлен классический временной анализ, который показал, что максимальная частота, на которой сможет работать ПЛИС – 44,05 МГц. Интервал времени от активного фронта тактового сигнала до появления сигнала на выходе (строка worst-case tco) составляет 14,6 нс, а так же интервалы времени до активного фронта тактового сигнала, в течение которого на входе должен действовать установившийся активный сигнал (строка worst-case tsu) и после активного фронта тактового сигнала, в течение которого на входе должен действовать установившийся логический сигнал (строка worst-case th) равны 0,5 нс и 4,8 нс соответственно [0].

Timing Analyzer Summary									
Type	Slack	Required Time	Actual Time	From	To	From Clock	To Clock	Failed Paths	
1 Clock Setup: 'clk'	N/A	None	44.05 MHz (period = 22.700 ns)	counter:comp_counter_hrlchet[2]	comp:comp_complcod[0]	clk	clk	0	
2 Total number of failed paths								0	
3 Worst-case tco	N/A	None	14.600 ns	coun_1:comp_coun_1[metca]	metca	clk	--	0	
4 Worst-case th	N/A	None	4.800 ns	reset	counter:comp_counter_minlclk_cnt	--	clk	0	
5 Worst-case tsu	N/A	None	-0.500 ns	reset	counter:comp_counter_slclk_cnt	--	clk	0	

Рис. 6. Временной анализ

Выводы

Целью явилось создание генератора временных меток резервного программно-временного блока. В ходе выполнения проекта решены следующие задачи:

- 1) Разработана структурная схема РПВБ и функциональная схема генератора временных меток.
- 2) Разработана программа на языке описания аппаратуры VHDL.

3) Выходные сигналы РПВБ (10 временных «меток» ПР 9. и 4 временные «метки» ПР 11) поступают на бортовую систему управления в соответствии с циклограммой реализации программ, что свидетельствует о правильном и надежном функционировании блока.

4) РПВБ представляет собой троированную систему, что обеспечивает высокую надежность и вероятность безотказной работы. Вероятность безотказной работы РПВБ. = 0,99997178.

Библиографический список

1. ОСТ 92-5100-2002. Аппаратура космических комплексов. Общие технические условия.
2. Суворова, Е.А. Проектирование цифровых систем на VHDL/ Е.А. Суворова, Ю.Е. Шейнин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 576 с.
3. EngineerDeveloper. JTAG – основы и немного теории [Электронный ресурс], – <http://portal-ed.ru/index.php/testirovanie-i-kontrol/92-jtag-osnovy-i-nemnogo-teorii.htm> – статья в интернете.
4. Архитектура ПЛИС (FPGA) [Электронный ресурс], – <http://marsohod.org/index.php/ourblog/11-blog/265-fpga> – статья в интернете.
5. Максфилд К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца/ К. Максфилд — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 408 с.
6. Журнал «Новости Космонавтики», М.: Видеокосмос, 1994-1998гг.
7. «Космонавтика», энциклопедия, М.: Советская энциклопедия, 1995, 528 с.
8. «Авиационно-космические системы», сборник статей под ред. Г.Е.Лозино-Лозинского и А.Г.Братухина, М.: Изд-во МАИ, 1997, 416 с

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

МОДЕЛЬ АЛГОРИТМА ВЫДЕЛЕНИЯ ЛИНИИ ГОРИЗОНТА НА АЭРОФОТОСНИМКЕ

В. Балакин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, zaychikrgtu19@mail.ru*

Аннотация. В данной работе описано построение модели алгоритма выделения линии горизонта на аэрофотоснимках с применением беспилотных летательных аппаратов вертолетного типа. Результаты экспериментального исследования демонстрируют практическую целесообразность использования предложенного алгоритма.

Ключевые слова. Аэрофотоснимок, изображение, градиент яркости.

MODEL OF THE ALGORITHM OF SELECTION OF THE HORIZON LINE ON AEROPHOTOS

V. Balakin

*Ryazan State Radioengineering University,
Russian Federation, Ryazan, zaychikrgtu19@mail.ru*

Abstract. This paper deals with the implementation of construction of a model of the algorithm of selection of the horizon line on aerophotos using helicopter-type unmanned aerial vehicles. The results of the experimental study demonstrate the practical purpose of the proposed algorithm.

Keywords. Aerial photo, image, gradient of brightness.

Введение

В настоящее время множество разнообразных социально-экономических, экологических, природопользовательских и прочих задач решаются с использованием точных векторных карт местности, с нанесенной на них информацией о высотах искусственных и природных объектов. Для создания точного картографического материала необходимо использовать аппаратно-программный комплекс автоматического построения детальных трехмерных моделей местности, в состав которого входит беспилотный летательный аппарат вертолетного

типа (гексакоптер) с телевизионной и тепловизионной камерами. Одним из важнейших этапов процесса дешифрации с целью дальнейшего совмещения кадра с виртуальной моделью местности является выделение линии горизонта на кадре аэрофотосъемки.

Алгоритм выделения линии горизонта

Он включает в себя несколько этапов:

- 1) этап предварительной классификации;
- 2) этап сопоставления;
- 3) этап доклассификации;
- 4) определение порога на основе градиента яркости изображения [1];
- 5) пороговая обработка изображения;
- 6) выделение линии горизонта.

Этап предварительной классификации

На этапе предварительной классификации выполняется предварительная классификация пикселей исходного спутникового снимка с помощью нейронной карты Кохонена. В качестве меры расстояния нейронная карта Кохонена использует Евклидово расстояние, что позволяет добиться на выходе процесса ее самоорганизации разбиения Воронова исходного пространства, сформированного из векторов спектральных яркостей пикселей исходного спутникового снимка. В результате своей работы компонента, реализующая стадию предварительной классификации, производит изображение-маску исходного спутникового снимка, каждый элемент которой хранит номер предварительного класса, к которому отнесен соответствующий пиксель. Соседние совпадающие по маске пиксели исходного спутникового снимка образуют предварительно классифицированные кластеры.

На этапе предварительной классификации выполняется отображение исходного спутникового снимка в изображение-маску:

$$M = [m_{ij}]; i = 1, h; j = 1, w; m_{ij} \in Z^+ \\ \text{cluster}(x_{ij}) = m_{ij}$$

Этап сопоставления

На этапе сопоставления выполняется вероятностное сопоставление исходного спутникового снимка с базовым спутниковым снимком. Сопоставление выполняется покластерно. Кластеры исходного спутникового снимка формируются путем прохода по спутниковому снимку квадратного окна размером, задаваемым при компиляции разработанного программного комплекса. Все пиксели, попадающие в окно, не относящиеся к какому-либо кластеру и имеющие предварительный класс, совпадающий с предварительным классом пикселя, расположенного в верхнем левом углу окна, образуют новый кластер. Для нового кластера вычисляется набор признаков и определяется соответствующий кластер базового спутникового снимка. Кластер базового спутникового снимка является совокупностью пикселей базового спутникового снимка, относящихся к одному и тому же классу. Кластер базового спутникового снимка должен соответствовать, в смысле географических координат, кластеру исходного спутникового снимка и иметь максимальную площадь (максимальное количество пикселей) среди всех таковых кластеров, соответствующих кластеру исходного спутникового снимка.

Классификация кластеров базового спутникового снимка выполняется с помощью набора уточняемых полигональных векторных слоев. Вероятностная природа сопоставления

позволяет снизить влияние на конечный результат помех, имеющихся на обоих спутниковых снимках, а также снизить влияние на конечный результат возможных расхождений характеристик снимков, вызванных различным временем и условиями съемки и, возможно, различным разрешением снимков.

На этапе сопоставления выполняется предварительная классификация исходного спутникового снимка:

$$\text{match: } (X, M, Z^*Z, X, M, X^*, \text{class}^*) \text{ match} \longrightarrow C$$

$$\text{match}(x_{ij}, m_{ij}, i, j, X, M, X^*, \text{class}^*) = c_{kc}$$

Этап доклассификации

На этапе доклассификации выполняется определение классов кластеров исходного спутникового снимка, неклассифицированных на стадии сопоставления. Доклассификация выполняется с помощью нейронной сети, состоящей из нескольких машин опорных векторов - по одной машине на класс ($Kc + 1$ машин). Нейронная сеть, составленная из нескольких машин опорных векторов, обучается с учителем. Обучающая выборка формируется из кластеров исходного спутникового снимка, классифицированных на стадии сопоставления, и, в случае недостаточного количества классифицированных кластеров исходного спутникового снимка, из кластеров базового спутникового снимка.

Целью этапа доклассификации является конструирование отображения class по известному отображению match и маске M исходного спутникового снимка X.

Определение порога на основе градиента яркости изображения

На четвертом этапе на вход алгоритма подается изображение в оттенках серого. На выходе алгоритма – значение порога (целое число).

Алгоритм вычисления порогового значения состоит из следующих 2 шагов:

1. Определение модуля градиента яркости для каждого пикселя изображения

$$G(m, n) = \max\{|G_m(m, n)|, |G_n(m, n)|\},$$

$$\text{где } G_m(m, n) = f(m + 1, n) - f(m - 1, n); G_n(m, n) = f(m, n + 1) - f(m, n - 1);$$

$f(m, n)$ – текущий пиксель изображения с координатами m, n .

2. Вычисление порога:

$$t = \frac{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) G(m, n)}{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} G(m, n)}$$

Алгоритм имеет вычислительную сложность $O(N^2)$.

Пороговая обработка изображения

На исходном изображении яркость пикселей, относящихся к небу, самая высокая, поэтому с помощью порогового преобразования можно отделить небо в отдельный класс. Для более быстрой обработки лучше применять пороговое преобразование к изображению в оттенках серого, но более точный результат можно получить, применяя пороговую обработку трехканального изображения.

Самое простое пороговое преобразование осуществляется по формуле:

$$f'(m, n) = \begin{cases} 0, & f(m, n) \leq t \\ 255, & f(m, n) > t \end{cases}$$

Алгоритм имеет вычислительную сложность $O(N^2)$.

Выделение линии горизонта

На вход подается трехканальное изображение. На выходе – бинаризованное изображение (на черном фоне белым выделена линия горизонта).

Суть алгоритма состоит в следующем:

1) создается дополнительное одноканальное изображение, инициализированное нулями;

2) осуществляется проход по всем столбцам входного изображения. Как только обнаруживается пиксель с яркостью меньше 240 по всем спектральным каналам, в дополнительном изображении пиксель с текущими координатами закрашивается белым цветом. Осуществляется переход на новый столбец.

Вычислительная сложность алгоритма – $O(N^2/2)$.

Общая сложность алгоритма выделения линии горизонта составляет $O(5N^2/2)$.

Экспериментальная часть

Для проведения эксперимента было получено несколько видеопоследовательностей с помощью гексакоптера. Среднее время работы алгоритма – 9 мс.

Экспериментальные исследования были проведены с использованием вычислительного кластера, организованного по технологии Message passing interface, с применением программного комплекса OpenMPI. Для уменьшения временных затрат на проведение экспериментального исследования каждый хост использовал мощности видеопроцессора, имевшегося в составе соответствующей вычислительной системы.

Выводы

Эксперимент показал низкую временную сложность и высокое качество работы алгоритма. К достоинствам алгоритма относятся:

- 1) простота реализации алгоритма;
- 2) все из шагов алгоритма хорошо поддаются распараллеливанию.

Недостатки алгоритма:

- 1) на некоторых изображениях линии получаются разрывными;
- 2) отсутствует устранение бликов и засветки.

Первый недостаток можно устранить применением морфологических операций с различным окном. Второй недостаток устраняется применением преобразования Хафа [2].

Библиографический список

1. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс, 2-е изд., испр.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс» – 2006.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений, М. - Техносфера, 2005.-1072 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ GPGPU В ЗАДАЧАХ ПОСТРОЕНИЯ КОНТУРНОГО КОРРЕЛЯТОРА ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОГРАНИЧЕННЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ МАШИН БОЛЬЦМАНА

В. В. Кузнецов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, vla8774@gmail.com*

Аннотация. В настоящей статье рассматривается подход к совмещению разнородных изображений, основанный на применении ограниченных стохастических машин Больцмана (RBM) в качестве контурного коррелятора. Подход основан на выделении на совмещаемых изображениях контуров с применением вейвлета Габора, дальнейшей бинаризации изображения, выделении на одном изображении окон определенного размера, обучении RBM с применением алгоритма CD-k на выделенных окнах, выделении окон на втором изображении, поиска максимального соответствия окнам на втором изображении окон на первом изображении, усреднении полученных соответствий. Для улучшения временных характеристик данного подхода предлагается использовать современные видеопроцессоры и технологию GPGPU для организации вычислений на них.

Ключевые слова. Ограниченная стохастическая машина Больцмана, GPGPU.

GP GPU TECHNOLOGY IN TASKS OF CONSTRUCTION CONTOUR IMAGE CORRELATOR USING STOCHASTIC RESTRICTED BOLTZMANN MACHINES

V. V. Kuznetsov

*Ryazan State Radioengineering University,
Russian Federation, Ryazan, vla8774@gmail.com*

Abstract. This article discusses the approach to the reconciliation of disparate images, based on the use of limited stochastic Boltzmann Machines (RBM) as a loop correlator. The approach is based on allocation to align the image contours using wavelet Gabor further binarization image, allocating one image window of a certain size, training RBM using CD-k algorithm to selected windows allocation window in the second image, search for the best-fit windows in the second image windows on the first image, obtained by averaging the correspondences. To improve the time characteristics of this approach are encouraged to use modern video processors and GPGPU technologies for computing them.

Keywords. Limited stochastic Boltzmann Machines, RBM, GPGPU.

Ограниченные стохастические машины Больцмана, сокращенно RBM ((англ.) restricted Boltzmann machine, RBM) - являются самообучаемыми двухслойными нейронными сетями с обратной связью и функционируют как ассоциативная память. Данная концепция обеспечивает высокую точность восстановления, способна запоминать существенно больше образов по сравнению с концепциями адаптивно-резонансной теории, ИНС Хопфилда и ИНС Хемминга и может быть эффективно реализована в системе, поддерживающей параллельные вычисления. Таким образом, наиболее эффективным с точки зрения времени выполнения и требуемых вычислительных ресурсов и позволяющим получить при этом результат качества, достаточного для дальнейшего совмещения, является подход, базирующийся на использовании нейросетевой ассоциативной памяти, основанной на ограниченной стохастической машине Больцмана ((англ.) restricted Boltzmann machine, RBM). Основными преимуществами применения ограниченной стохастической машины Больцмана являются:

- низкие временные затраты на выполнение совмещения, что связано с хорошими возможностями по распараллеливанию отдельных этапов совмещения вследствие их нейросетевой природы;
- высокая точность совмещения, что обеспечивается нелинейностью процесса выполнения совмещения.

Пусть $G_B = \{g_{Bn}\}$ – множество описаний контуров g_{Bn} , выделенных на спутниковом снимке $B(|G_B| = N_B)$; $G_M = \{g_{Mn}\}$ – множество описаний контуров g_{Mn} объектов, присутствующих на ЦКМ $(|G_M| = N_M)$.

Размерности векторов g_{Bn} и g_{Mn} очевидно совпадают и равны $|g_{Bn}| = |g_{Mn}| = S_{wnd\ size}^2$.

Алгоритм работы коррелятора состоит из следующих этапов:

1) обучение коррелятора на множестве G_B описаний контуров, выделенных на спутниковом снимке B , с использованием алгоритма CD-k ((англ.) contrastive divergence), описанного в [62];

2) рогон коррелятора для каждого $g_{Mn} \in G_M$ и формирование пар описаний контуров $(g_{Bn}', g_{Mn}) \in G_{pair}$ таких, что для контура g_{Mn} контур g_{Bn}' является наилучшим соответствием с точки зрения коррелятора;

3) формирование множества пар совпадающих точек $P_{raw\ edu}$ по множеству G_{pair} .

Ключевым элементом представленного алгоритма является коррелятор, основанный на применении ограниченной стохастической машины Больцмана.

Так как ограниченная стохастическая машина Больцмана является полносвязанной ИНС, то $|W_{visible\ q}| = W_{rbm\ visible}$ и $S_{rbm\ hidden} = |W_{visible\ q}| = S_{wnd\ size}$.

Алгоритм работы ИНС по сопоставлению с контуром g_{Mn} контура $g_{Bn'} \in G_B$ состоит из следующих этапов:

1) исходный вектор g_{Mn} поступает на вход RBM: $g_{visible} = g_{Mn}$;

2) $g_{visible\ prev} = g_{visible}$;

3) рассчитывается вектор $g_{hidden} = \{g_{hidden\ q}\}$, где $g_{hidden\ q} = W_{visible\ q} g_{visible}^T$; $q = \overline{1, S_{rbm\ visible}}$;

4) рассчитывается вектор $g_{visible} = \{g_{visible\ q}\}$, где $g_{visible\ q} = W_{hidden\ q} g_{hidden}^T$; $q = \overline{1, S_{rbm\ hidden}}$;

5) рассчитывается $\delta g_{visible}$:

$$\delta g_{visible} = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{S_{rbm\ visible}} (g_{visible\ q} - g_{visible\ prev\ q})^2}{S_{rbm\ visible}}}; \quad (3.35)$$

6) если $\delta g_{visible} \leq T_{rbm\ stop}$, то выполняется останов алгоритма, иначе выполняется переход на шаг 2.

По завершении выполнения алгоритма очередной вектор $g_{visible}$ принимается в качестве приближения $\hat{g}_{Bn}'$ к вектору g_{Bn}' .

Пороговое значение $T_{rbm\ stop} \in \mathbb{R}^+$ является максимально допустимым отклонением очередного вектора $g_{visible}$ от соответствующего вектора на предыдущей итерации, при котором выполнение алгоритма останавливается и ИНС считается достигшей стабильного состояния.

Поиск вектора g_{Bn}' по его примерному значению $\hat{g}_{Bn}'$ из множества G_B выполняется по алгоритму, состоящему из следующих этапов:

1) для каждого $g_{Bn} \in G_B$ рассчитывается δg_{Bn} :

$$\delta g_{Bn} = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{S_{wnd\ size}^2} (g_{Bn\ q} - \hat{g}_{Bn'q})^2}{S_{wnd\ size}^2}}; \dots\dots\dots (3.36)$$

2) выбирается вектор g_{Bn}' такой, что $n' = \arg \min \delta g_{Bn}$.

Таким образом, в качестве g_{Bn}' выбирается вектор $g_{Bn}' \in G_B$, максимально близкий к $\hat{g}_{Bn}'$ в смысле Евклидовой меры расстояния.

Основная идея исследования применения технологии GPGPU в задачах контурного коррелятора изображений с применением ограниченной стохастической машины Больцмана состоит в том, чтобы обучить стохастическую машину Больцмана на наборе окон, выделенных на одном из изображений, с тем, чтобы стохастическая машина Больцмана в процессе своего функционирования на окне из другого изображения сходилась к определенному окну на первом изображении. Таким образом, получается пара соответствующих друг другу окон, что позволяет предположить, что разница между координатами центров окон является необходимой коррекцией в процессе совмещений изображений. Полученные соответствия для каждого из окон, выделенных на втором изображении, необходимо усреднить с отсечением части соответствий по двумерной гистограмме, которая оказывается одномодовой, в результате чего получается результирующее преобразование для совмещения изображений.

Использование технологии GPGPU на практике позволяет улучшить временные характеристики процесса поиска соответствий между окнами на изображениях путем копирования предобученной ограниченной стохастической машины Больцмана и запуска ее параллельно на нескольких вычислительных ядрах видеопроцессора. Ключевой проблемой распараллеливания является загрузка данных в память видеопроцессора, что в общем не оказывает существенный эффект на конечный результат.

Технология CUDA, дающая лучший эффект при совмещении с применением вычислительной системы, содержащей видеопроцессор фирмы Nvidia, данная технология и является более распространённой в данный момент, но в ходе использования данной технологии на практике было установлено, что данная технология проигрывает по эффективности технологии OpenCL в случае, если дополнительно применяется технология MPI для распараллеливания процесса совмещения на нескольких вычислительных узлах.

Таким образом, оказывается, что максимальный эффект достигается на вычислительном кластере из нескольких вычислительных систем, имеющих в своем составе современные видеопроцессоры, и организованном с применением технологии MPI для организации вычислений и технологии OpenCL для организации вычислений непосредственно с использованием видеопроцессора.

Результаты применения технологии GPGPU безусловно позволили улучшить временные характеристики совмещения в среднем в 3,2 раза без потери точности вычисления.

Описанный подход к совмещению находит применение в задачах привязки спутниковых снимков к системе координат, в рамках которой осуществляется совмещение спутникового снимка и цифровой карты местности. Другой областью применения является совмещение изображений, поступающих от бортовых камер самолетов и вертолетов, и цифровых карт местности с целью уточнения положения самолета или вертолета в пространстве.

Библиографический список

1. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс, 2-е изд., испр.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс» – 2006.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений, М. - Техносфера, 2005.-1072 с.

УДК 004.032.2; ГРНТИ 89.25.15

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СИСТЕМ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПУСКОВ ИЗДЕЛИЙ РКТ

С. В. Спицын, А. В. Товпеко,

*АО «РКЦ «Прогресс» - филиал ОКБ «Спектр»,
Россия, г. Рязань, 4370@spectr.ryazan.ru*

Аннотация. В данной работе рассмотрены ключевые показатели качества систем сбора, обработки и анализа телеметрической информации изделий ракетно-космической техники (РКТ). Проведен разбор актуальных вопросов архитектуры систем и измерительных комплексов, применяемых при проведении пусков и испытаний изделий РКТ, рассмотрены вопросы создания, эксплуатации, а также перспективные направления развития.

Ключевые слова. Космическая телеметрия, визуализация параметров, системы сбора измерительной информации.

MAIN QUALITY INDICATORS FOR MEASUREMENT GATHERING AND PROCESSING SYSTEMS OF SPACE LAUNCHES PROVIDING

S.V. Spitsyn, A.V. Tovpeko

JSC "SRC "Progress"- department of special design bureau "Spectrum",

Russia, Ryazan, 4370@spectr.ryazan.ru

Abstract. This paper deals with main quality indicators for measurement gathering and processing systems of space launches providing. The analysis of actual issues of system architecture of measuring complexes used in launching was considered. Issues of creation, maintenance, and perspectives of development were considered as well.

Keywords. Space telemetry, visualization of parameters, measurement gathering systems.

Введение

Системы сбора и обработки измерений, которые лежат в основе измерительных комплексов космодрома, должны обладать такими качествами, как адаптивность и масштабируемость – как того требует разнообразие проводимых лётных экспериментов. Различные варианты лётно-конструкторских испытаний, учебно-боевых пусков и прочих натурных работ предполагают множество комбинаций используемых измерительных средств, топологий сбора, математических методов анализа измерений, форматов радиотелеметрических систем. Таким образом, при создании современных программно-аппаратных комплексов испытательных полигонов, обеспечивающих прием, регистрацию, обработку и анализ телеметрической информации (ТМИ) должны учитываться определённые показатели качества, среди которых можно выделить три наиболее важных:

1) *универсальность* – гибкость конфигурирования под различные условия эксплуатации, сторонние входные форматы, новые методы обработки и представления;

2) *наличие качественного репортажного режима* – возможность выдачи пользователю своевременной, достоверной и достаточной для анализа обработанной измерительной информации в режиме реального времени в условиях (как правило) низкой пропускной способности информационного канала и сравнительно слабой вычислительной мощности. Техническая реализуемость репортажного режима складывается из определённых требований к протоколам передачи данных и способам организации вычислительного процесса, предполагающими приоритет быстрогодействия перед полнотой обработки и гарантированной передачей;

3) *эргономика визуализации* – важнейшая составляющая для конечного потребителя – специалиста по анализу лётных характеристик или руководителя работ. Помимо очевидных требований по отображению параметров и траекторий здесь предполагается развитый инструментарий моделирования и имитации, а также переход от традиционных графиков и таблиц к автоматически сформированным заключениям по функционированию узлов и агрегатов изделий, которые отображаются на мнемосхемах и трёхмерных моделях изделия в полёте.

Универсальность

Универсальность является критерием, полагаясь на который разработчик программно-аппаратных комплексов и систем делает создаваемую им продукцию максимально адаптивной под различные виды задач – т.е. либо настраиваемой, либо функционально наращиваемой за минимально возможное время и стоимость. Именно возможность простого и сравнительно дешёвого функционального наращивания определяет адаптивность системы, её пригодность для обеспечения работ по очередному новому изделию, по новой пусковой задаче [1]. Структура телеметрической информации у различных изделий РКТ отличается кардинально – от способа извлечения измерительных слов из телеметрических потоков до методов преобразования кодов измерений в единицы физических величин и требований к анализу

лётно-технических характеристик. Так возникает вопрос о создании модульной структуры приложений, в основе которой было бы общее вычислительное ядро, а вся зависимость от входных форматов, применяемых методов и специализированных опций представления была сосредоточена в библиотеках функций, состав которых и схема взаимодействия между ними адаптируются под конкретный вариант использования.

Принятые в ОКБ «Спектр» решения по обработке базируются на использовании специально разработанного единого диспетчера под названием «Гидра», обеспечивающего вызов различных библиотек преобразования и организацию обмена входными и выходными данными согласно заданной схеме. Каждый блок графа мнемосхемы «Гидры» отвечает за определённый этап преобразования информации, например, такие как приём потока из вычислительной сети, извлечение телеметрического кадра, извлечение субкадра бортового устройства, декоммутация параметра, математическая обработка параметров и вывод измеряемых процессов, визуализация результатов на графиках и моделях. А вся схема образует своеобразный конвейер обработки, цветоиндикация на котором показывает, на какой стадии имеется или отсутствует выходная информация, что позволяет проводить простую оценку готовности к сеансу. Функциональное наращивание программно-математического обеспечения на основе «Гидры» заключается не в полном переделывании системы, а в её дополнении новыми блоками под очередные входные/выходные форматы и востребованные методы преобразования. Сохранение всего предшествующего задела и схем по предыдущим пускам обеспечивает минимально возможные стоимость и время доработки. На иллюстрации далее представлен вариант мнемосхемы для последовательного процесса обработки и документирования цифровой телеметрической информации (рис. 1).

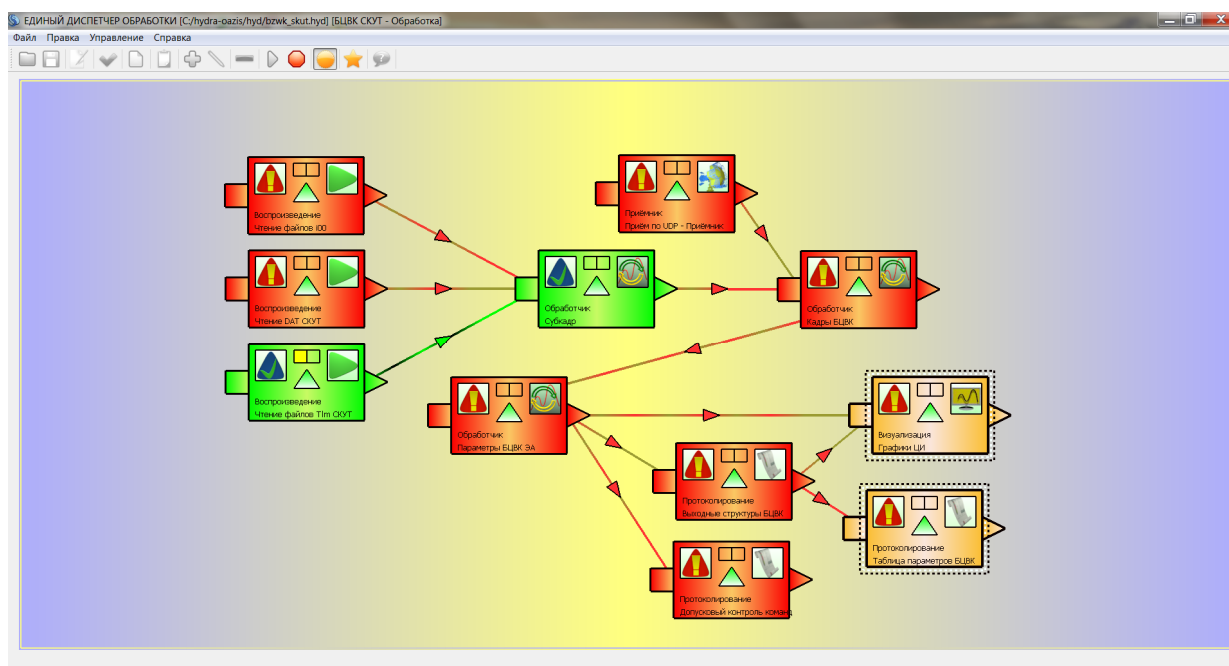


Рис. 1. Универсальный диспетчер «Гидра» с мнемосхемой обработки

Качественный репортажный режим

Режим репортажа – это режим, при котором сбор, обработка и анализ ТМИ происходит в реальном времени. По объективным техническим причинам допускается определённая временная задержка от получения телеметрического блока на измерительном пункте до обновления очередного результата, выводимого пользователю на анализ, но категорически не допускается накопление временной задержки – то есть обработка должна осуществляться без

отрыва от темпа приёма измерений. Почему репортажный режим является важнейшей частью информационного обеспечения пуска, несмотря на то, что после сеанса возможен более подробный анализ накопленных измерений? Важность реального времени обусловлена тем, что получаемая в данном режиме информация помимо своего справочного значения о ходе полёта также применяется и для управления – а именно в расчёте целеуказаний по текущей траекторной точке для измерительных пунктов на протяжении всей трассы. Здесь же и вопрос о предстартовой подготовке для обеспечения экстренной остановки запуска в случае выявления отклонений в по обрабатываемым измерительным каналам. Эффективность (в смысле быстродействия) в вопросе репортажа важнее, чем полнота обрабатываемых данных [2]. Это значит, что можно допустить определённый уровень потерь или неэкономное использование оперативной памяти и вычислительной мощности, если это предотвратит превышение времени реакции системы выше допустимого уровня. Т.е. ключевым моментом является минимизация времени реакции. Для её обеспечения используются сетевые протоколы без подтверждений, а также алгоритмы обработки, которые производят максимально возможный расчет на начальной подготовительной стадии, а в режиме реального масштаба времени полученная измерительная информация ссылается на массив данных, состоящий из уже заранее подготовленных результатов на все возможные варианты измерительных кодов. Еще один ключевой момент для качественного режима репортажа – это имеющаяся объектовая инфраструктура. Она, как правило, ограничена, особенно на удаленных измерительных пунктах – часто имеет место неустойчивость (высокая вероятность ошибки) и низкая пропускная способность каналов связи. В этой связи возникает задача распределения задач сбора, обработки и анализа между имеющимися аппаратно-программными средствами. Что же касается непосредственного отображения телеметрируемых параметров в репортажном режиме, то тут стоит отметить применение графики на укороченных интервалах времени с частичным прореживанием и использование аппаратного ускорения, в то время как для обработки и представления параметров в режиме отложенного времени применяется циклический вывод. В системах ОКБ «Спектр», как правило, под режим реального времени выделяется специализированная программа просмотра телеизмерений, отличная от программы для послесеансного обслуживания. На рис.2 изображён пример формы.

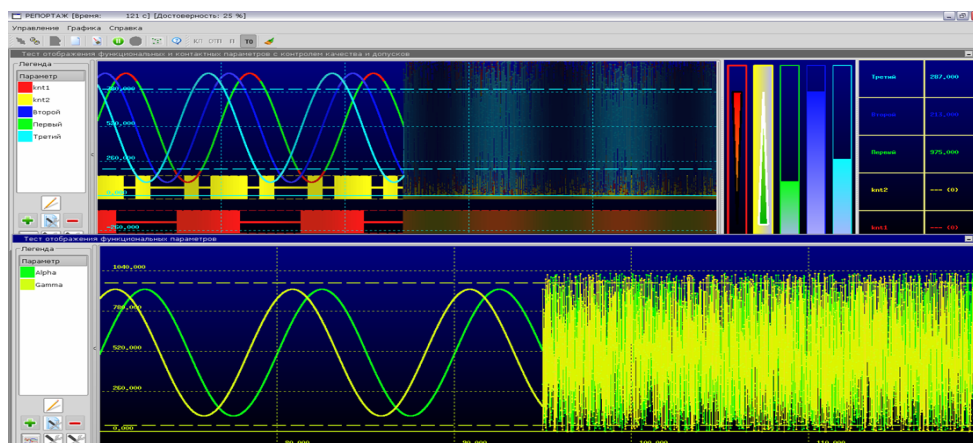


Рис. 2. Пример экрана репортажной программы с графиками, гистограммами, транспарантами срабатывания, цветоиндикацией качества и контроля допусков

Эргономика визуализации

На уровне конечной оценки лётно-технических характеристик и итогового принятия решений по результатам пуска эргономика визуализации является критерием дружелюбности пользовательских интерфейсов, доступности и простоты понимания полученной информации и ходе лётного эксперимента. Задача усложняется тем, что при проведении пусков из-

ства экранов коллективного пользования, акцент на качество машинной графики и моделирования (от параметров и траектории к моделям конструкции и работы двигателей), сопряжение различными видами наземных видеокамер и бортовых систем видеоконтроля, развитие имитаторов для более детального моделирования в плановых или демонстрационных целях (рис. 4).

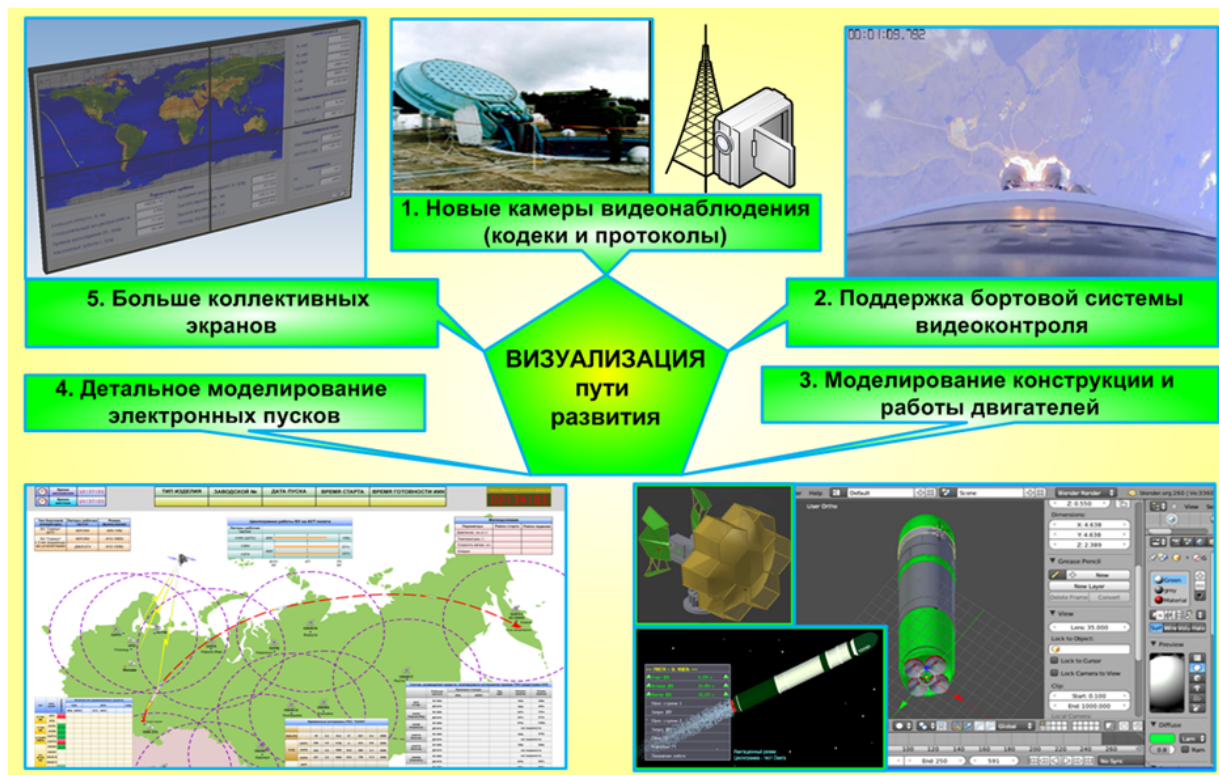


Рис. 4. Визуализация и зрелищность. Вероятные пути развития

Выводы о показателях качества

Подводя итоги рассмотрения проблематики систем сбора и обработки измерений, следует констатировать, какими должны быть создаваемые комплексы в данной сфере:

- максимально адаптивными – к различным вариантам связи с центрами сбора, к различным типам радиотелеметрии и регистрирующей аппаратуры;
- максимально эффективными – для обеспечения качественного репортажа, в том числе с достаточным быстродействием для корректировки целеуказаний измерительному комплексу и для отмены запуска в случае нештатной ситуации по измерениям;
- максимально наглядными в плане отображения конечных результатов, чтобы обеспечить доведение результатов пуска широкой группе пользователей – от специалистов-измерителей до руководителей всех уровней.

Конкурентоспособность в отрасли систем сбора и обработки обеспечивается строгим соблюдением трёх изложенных правил – универсальности, репортажа и зрелищности.

Библиографический список

1. В.И.Везенов, Ю.А.Новиков, А.В.Товпеко. Организация систем сбора и обработки телеизмерений для полигонного измерительного комплекса – существующие решения и пути развития. «Сборник материалов РВСН, посвященный 65-летию первого пуска с полигона Капустин Яр» Власиха: РВСН, 2013
2. А.В.Товпеко. Ключевые показатели качества систем обработки и анализа космической телеметрии. Сборник «Материалы III ВНТК Актуальные проблемы ракетно-космической техники» Самара: ЦСКБ-Прогресс, 2013.

УДК 681.32; 681.621, ГРТНИ 49.37.29

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОРМАТА ДАННЫХ JSON ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АППАРАТУРЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В.В. Сергушкин, О.А. Бодров

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Россия, Рязань, s2xxx@yandex.ru

Аннотация. В данной работе рассматриваются целесообразность использования формата обмена данными JSON при взаимодействии пользователя со встраиваемыми системами на примере аппаратуры передачи данных. Данная информация является полезной при разработке встраиваемых систем любой степени сложности.

Ключевые слова. Встраиваемые системы, формат JSON, обмен данными с пользователем, телекоммуникация.

USING THE JSON DATA FORMAT TO INTERACT WITH USER WHEN DEVELOPING THE SOFTWARE FOR DATA TRANSMISSION EQUIPMENT

V.V. Sergushkin, O.A. Bodrov

Ryazan State Radio Engineering University,

Ryazan, Russia, s2xxx@yandex.ru

Abstract. This paper discusses the expediency of using the JSON data exchange format when the user interacts with embedded systems using the example of data transmission equipment. This information is useful in the development of embedded systems of any complexity.

Keywords. Embedded System, JSON format, communication with user, telecommunication

Введение

В настоящее время наблюдается стремительный рост количества встраиваемых систем (Embedded System) различного назначения. Эти устройства постепенно внедрились во все отрасли человеческой жизни начиная с космических технологий, автомобилестроения, военной техники и заканчивая бытовой электроникой.

Одним из ключевых моментов успеха устройства на рынке является удобство взаимодействия пользователя с системой. Для решения этой задачи наиболее удачным решением является использование Web технологий (англ. Web — паутина — интернет-пространство), как наиболее распространенной, т. к. Web-браузер имеется на многих устройствах (ПК, смартфоны, КПК, телевизоры). В настоящее время, привычная всем микроволновка, без возможности доступа к ней по протоколу HTTP (именно он используется в Web), уже не выглядит умным устройством.

Существующие форматы данных

Без возможности работать с данными даже одни из самых умных устройств, такие как смартфоны, становятся просто очень дорогими и малоэффективными телефонами. Раньше при работе с Web-серверами (далее просто «сервер»), клиенты просто загружали страницы целиком, что вызывало некоторое ощущение «заторможенности» Web-приложения (далее просто «приложение»).

Однако в последнее время одно из лидирующих положений построения пользовательских интерфейсов приложений занимает технология AJAX (Asynchronous JavaScript and XML)[1]. Она позволяет при каких-либо действиях пользователя на странице приложения не получать новую веб-страницу с сервера, как происходило это раньше, а асинхронно подгружать только нужные данные. Так как при этом передается меньший объем данных и, в тоже время, гораздо меньше данных обрабатывается и отображается в окне браузера, AJAX-приложения могут обеспечить пользователю гораздо более комфортную работу, чем тради-

ционные приложения. Хорошо написанное AJAX-приложение может, по удобству работы пользователя с ним, быть на равных с обычными настольными программами. Доставлять запрошенные приложением данные можно в разных форматах.

Данные без применения специальных форматов

Основной объект, используемый в технологии AJAX для выполнения асинхронных запросов к серверу, это XMLHttpRequest который имеет свойство `responseText`. Именно в нём содержится ответ сервера. Формат текста ответа может быть любым. Например, один сценарий может вернуть разделенные запятыми значения (аналог формата CSV), другой – разделить вертикальной чертой, а третий может просто слить данные в одну длинную строку текста. Всё это решает сервер.

Подход без применения специальных форматов имеет право на существование, и даже часто используется в небольших приложениях. Однако основной его недостаток заключается в нарастающей сложности поддержки и отладки по мере роста приложения (добавление нового или изменения существующего функционала).

Формат данных XML, JSON и YAML

XML (eXtensible Markup Language) — расширяемый язык разметки. XML применяется во многих местах, но для программистов встраиваемых систем это обычно плохой выбор. Платформа с ограниченными ресурсами, не в состоянии хранить и анализировать большие объемы данных, особенно если структура и объем этих данных начали сильно разрастаться, а именно это чаще всего и происходит с XML-структурами [2].

Большой объем данных в XML обусловлен излишней избыточностью. Каждый элемент должен быть обернут в именованный тег. Именно это значительно уменьшает КПД XML-формата (отношение полезной информации к общему объему данных).

В тоже время XML весьма распространенный формат. На это повлияло его раннее появление относительно JSON и YAML. Не удивительно, что на его основе были разработаны различные форматы данных (XHTML, XSD, FB2) и протоколы (SOAP). И если для какой-либо задачи требуется обмен не только текстовыми, но и двоичными данными, XML может быть правильным выбором.

Формат JSON (JavaScript Object Notation), в отличие от XML, обладает большей лаконичностью [3]. В связи с этим, всё чаще при выдаче информации в интернете, в качестве одного из форматов данных, используют JSON.

Хотя изначально обмен данными между сервером и браузером в технологии AJAX происходил в формате XML, он всё же был довольно сложным для его использования в приложениях [4]. Помимо сложности использования, в языке программирования JavaScript (который выступает основным языком сценариев в браузерах) уже были объекты, которые использовались для представления данных, поэтому Дуглас Крокфорд взял синтаксис объектов JavaScript и использовал его в качестве спецификации нового формата обмена данными, который и получил название JSON. Этот формат было намного проще читать и разбирать в браузере с применением JavaScript. Это стало ещё одной причиной популярности JSON вместо XML.

Формат YAML представляет собой способ перевода одного типа данных в другой, концептуально близкий к языкам разметки, но ориентированный на удобство ввода-вывода типичных структур данных (массивы, списки и т.д.).

YAML с версии 1.2 является надмножеством формата JSON. Таким образом, синтаксически верные JSON данные, являются верными и для YAML [5].

YAML обладает такими положительными моментами, относительно JSON, как:

- поддержка комментариев

- наследование
- ссылки

Основными недостатками YAML сравнительно с JSON и XML являются меньшая поддержка в языках программирования, и меньшая по сравнению с JSON производительность. Ограничение в производительности легко объяснить тем, что анализатор YAML делает все, что делает анализатор JSON и в тоже время, в связи с увеличенным количеством поддерживаемых особенностей, он должен проверять большее количество шаблонов при анализе данных. И очевидным видится, что из любых сопоставимых реализаций обоих форматов, JSON всегда будет быстрее.

JSON во встраиваемых устройствах

Хотя XML это хорошо протестированная и испытанная технология, которой пользуются множество приложений, преимущества JSON формата данных в том, что он является более компактным и более прост в написании и чтении. Компактность формата данных становится особенно актуальна при применении в ограниченном ресурсами окружении, примерами которого являются встраиваемые системы, в том числе аппаратура передачи данных.

Хотя JSON относительно гибкий и сжатый формат данных [6], с которым легко работать на многих языках программирования, у него имеются свои недостатки:

- нет структуры данных.
- только один тип чисел (IEEE-754).
- тип «дата» отсутствует.
- нет комментариев (хотя, существует формат JSON5 где комментарии в данных возможны).

Однако, если стоит задача создать приложение использующее технологию AJAX для встраиваемых систем, более предпочтительным выглядит использование формата JSON для обмена данными между сервером и браузером. Данный формат особенно удобен, когда данные специально генерируются для одного клиента с последующей обработкой на JavaScript. Окончательный довод в пользу использования JSON формата на встраиваемых устройствах, является его большая компактности и распространенность.

Пример реализации формата JSON

Как уже отмечалось, для JSON формата существует большое количество реализаций на многих языках программирования. Однако в некоторых случаях может отсутствовать возможность использования сторонних библиотек (отсутствие динамической памяти, уменьшение используемого объема памяти).

Примером самостоятельной реализации JSON формата на языке программирования «C», который полностью отражает структуру объекта JSON, выглядит так

```
typedef struct jsonObj_s
{
    char* key;
    enum jsonObjType_e type;
    union {
        s32_t intVal;
        char* string;
        struct jsonObj_s *objArr;
        bool_t boolean;
    };
    struct jsonObj_s *sibling;
} jsonObj_t;
```

где тип JSON объекта можно представить в виде перечисления *enum* jsonObjType_e

```
{  
    JSON_TYPE_OBJECT,  
    JSON_TYPE_STRING,  
    JSON_TYPE_INT,  
    JSON_TYPE_ARRAY,  
    JSON_TYPE_BOOL,  
    JSON_TYPE_NULL  
};
```

Выводы

JSON - это формат данных, нацеленный в первую очередь на отправку данных между веб-серверами и браузерами, использование которого во встраиваемых системах, в том числе в аппаратуре передачи данных, выглядит весьма удачным решением. Ввиду того, что формат имеет простой дизайн и гибкость, его легко читать и понимать, а также легко работать с такими данными в большинстве языков программирования.

Библиографический список

1. Фрэнк Эйблсон. Использование XML и JSON с Android [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ibm.com/developerworks/ru> (дата обращения 11.02.2018).
2. Extensible Markup Language (XML) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.w3.org/XML/> (дата обращения 11.02.2018).
3. Канаев К.А. Сравнительный анализ форматов обмена данными, используемых в приложениях с клиент-серверной архитектурой / Канаев К.А. Фалеева Е.В. Пономарчук Ю.В. // Фундаментальные исследования. – 2015. - № 2 - С. 5569
4. Вугт В.В. OpenXML Кратко и доступно / Вугт В.В. – Изв-во: Microsoft Press, 2007. - 109с.
5. The Official YAML Web Site [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.yaml.org/spec/1.2/spec.html> (дата обращения 11.02.2018).
6. Ben Smith. Beginning JSON / Ben Smith. – Изв-во: Apress, 2015. – 295 с.

УДК 004.932.4; ГРНТИ 89.57.45

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУБПИКСЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Д.В. Фетисов, А.Н. Колесенков

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, sk62@mail.ru, morzitko@gmail.com

Аннотация. На основе принципа усреднения разработан алгоритм субпиксельной обработки аэрокосмического снимка для увеличения пространственного разрешения. С помощью него можно получить изображение высокого разрешения посредством обработки нескольких исходных снимков с более низким разрешением. Входная информация – серия аэрокосмических снимков, имеющих смещение относительно друг друга на половину пикселя. В качестве результата обработки выступает одно сгенерированное изображение с повышенным разрешением.

Ключевые слова. Аэрокосмический снимок, изображение, алгоритм, субпиксельная обработка, направления обработки, разрешение.

HIGHER SPATIAL RESOLUTION SPACE IMAGES USING SUB-PIXEL PROCESSING

D.V. Fetisov, A.N. Kolesenkov

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, sk62@mail.ru, morzitko@gmail.com

Abstract. On the basis of averaging principle the algorithm of sub-pixel processing of aerospace image for increasing spatial resolution is developed. With it, a high-resolution image is gotten by processing multiple lower-resolution source images. Input information is a series of aerospace images with an offset relative to each other by half a pixel. The result of the processing is a single generated image with an increased resolution.

Keywords. Aerospace picture, image, algorithm, sub-pixel processing direction of the processing, resolution.

Введение

В последнее время большой востребованностью пользуются технологии, повышающие разрешение изображения, т.к. у пользователей возрастают требования к интерфейсам, с которыми они работают. Научные исследования в области обработки аэрокосмических снимков также приобретают особую актуальность. Подобные разработки в данном направлении преимущественно ведутся зарубежными учеными, что повышает значимость отечественного исследования и развития. В настоящей статье предлагается алгоритм субпиксельной обработки аэрокосмических снимков [2], который позволит повысить разрешение изображения, не затрагивая разрешающую способность камер.

Повышение разрешения снимка служит единственным решением, когда необходимо повысить его детальность. Это достигается благодаря субпиксельной обработке. Данный метод подразумевает получение нового пикселя на основе значений пикселей, схожих между собой или стоящих рядом [1]. Основная идея реализации алгоритма заключается в загрузке нескольких снимков одного объекта, которые сдвинуты относительно друг друга на часть пикселя, и согласно формулам вычисления пикселей, формируется новое выходное изображение с повышенным разрешением. Аэрокосмические снимки представляются в виде матриц яркости, состоящих из значений в диапазоне от 0 до 255. Цветное изображение состоит из цветовых компонент и разбивается на три матрицы яркости, каждая из которых может обрабатываться отдельно или совместно.

Субпиксельная обработка изображений на основе смещения пикселей в одном направлении

В настоящее время существует два варианта формирования входных данных для субпиксельной обработки:

используется два аэрокосмических снимка, один из которых смещен на половину пикселя в одном направлении;

используется два аэрокосмических снимка, один из которых смещен на половину пикселя в двух направлениях.

В первом случае каждый пиксель исходного снимка разбивается на четыре части результирующего пикселя. Затем с помощью второго изображения уточняются значения пикселей в горизонтальном направлении. В вертикальном направлении пиксели дублируются для сохранения пропорций входного снимка, однако эта процедура не влияет на повышение качества самого изображения.

В результате работы данного алгоритма субпиксельной обработки происходит увеличение количества строк результирующего изображения до $2*n+1$ (n – число строк исходного снимка). Поскольку начальная и конечная строка не обрабатываются, то их можно не включать и тогда количество строк будет равно $2*n-1$.

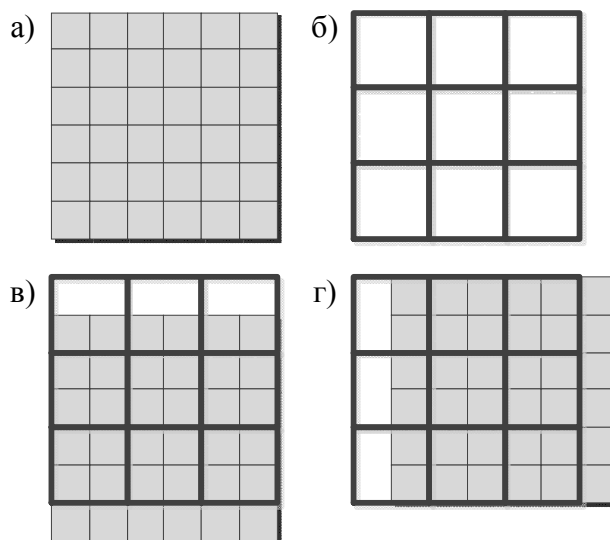


Рис. 1. Варианты формирования аэрокосмических снимков:

- а) схема результирующего изображения;
- б) схема первого исходного снимка;
- в) смещение второго исходного снимка в вертикальном направлении;
- г) смещение второго исходного снимка в горизонтальном направлении

Данный представленный алгоритм позволяет незначительно улучшить аэрокосмический снимок только в горизонтальном направлении, в основе которого лежит принцип усреднения значений соседних пикселей. Однако выходное изображение будет уступать в качестве, снимку, который получается путем съемки с высоким разрешением. К основным преимуществам разработанного алгоритма можно отнести минимальные требования к исходным данным – минимально требуется всего лишь два аэрокосмических снимка, для которых достаточно организовать смещение объектива аппарата в горизонтальном или вертикальном направлении. При этом данный алгоритм будет устойчив к шуму. Поэтому подобную субпиксельную обработку целесообразно использовать для исследования объектов, представленных в матричной форме и требующих повышения разрешения по строкам или столбцам.

Субпиксельная обработка изображений на основе смещения пикселей в двух направлениях

Во втором варианте формирования данных для субпиксельной обработки используется два аэрокосмических снимка, один из которых смещен по двум направлениям [3, 4]. В данном случае в качестве входной информации можно использовать два, четыре и более снимков, количество которых кратно двум. По рисунку 2 можно заметить, что количество пикселей доводится до $(2 \cdot n + 1) \cdot (2 \cdot m + 1)$ (n – количество строк, m – количество столбцов исходного снимка).

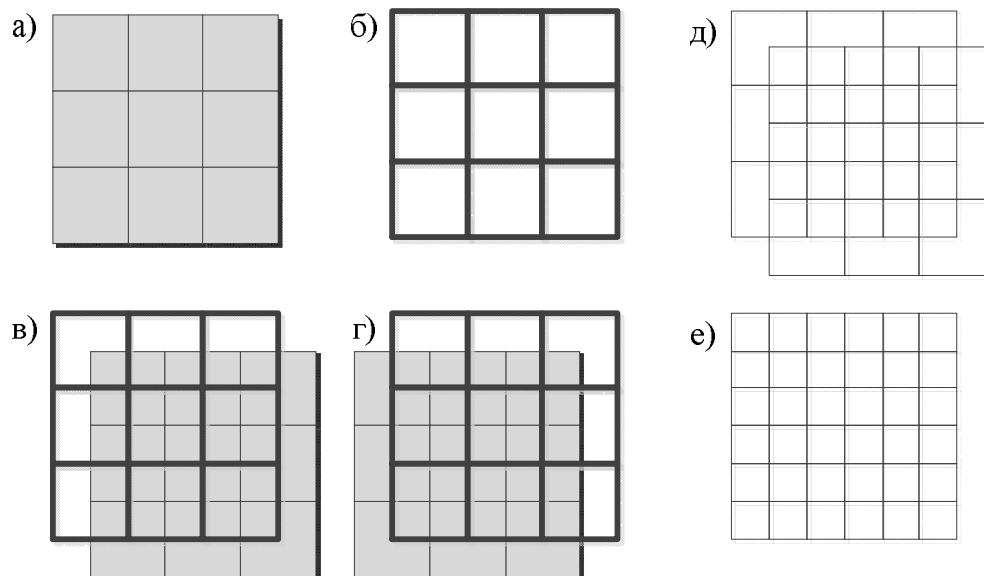


Рис. 2. Варианты формирования аэрокосмических снимков:

- а) схема первого исходного снимка;
 б) схема второго исходного снимка;
 в, г) варианты смещения исходных снимков относительно друг друга в разных направлениях;
 д, е) схема результирующего изображения

Чтобы вычислить значений пикселей, формирующих результирующее изображение, необходимо воспользоваться формулами (1) – (4), выбор которых производится согласно алгоритму, представленному на рисунке 3, и зависит от значения индекса строки - i и столбца - j относительно формируемого пикселя.

$$matrix_new_{i,j} = \frac{matrix1_{\frac{i}{2}, \frac{j}{2}} + matrix2_{\frac{i}{2}-1, \frac{j}{2}-1}}{2} \quad (1)$$

$$matrix_new_{i,j} = \frac{matrix1_{\frac{i}{2}, \frac{j-1}{2}} + matrix2_{\frac{i}{2}-1, \frac{j}{2}}}{2} \quad (2)$$

$$matrix_new_{i,j} = \frac{matrix1_{\frac{i-1}{2}, \frac{j}{2}} + matrix2_{\frac{i-1}{2}, \frac{j}{2}-1}}{2} \quad (3)$$

$$matrix_new_{i,j} = \frac{matrix1_{\frac{i-1}{2}, \frac{j-1}{2}} + matrix2_{\frac{i}{2}, \frac{j-1}{2}}}{2} \quad (4)$$

где $matrix1$ - $matrix4$ – матрицы исходных снимков низкого разрешения;
 $matrix_new$ - матрица выходного сформированного изображения.

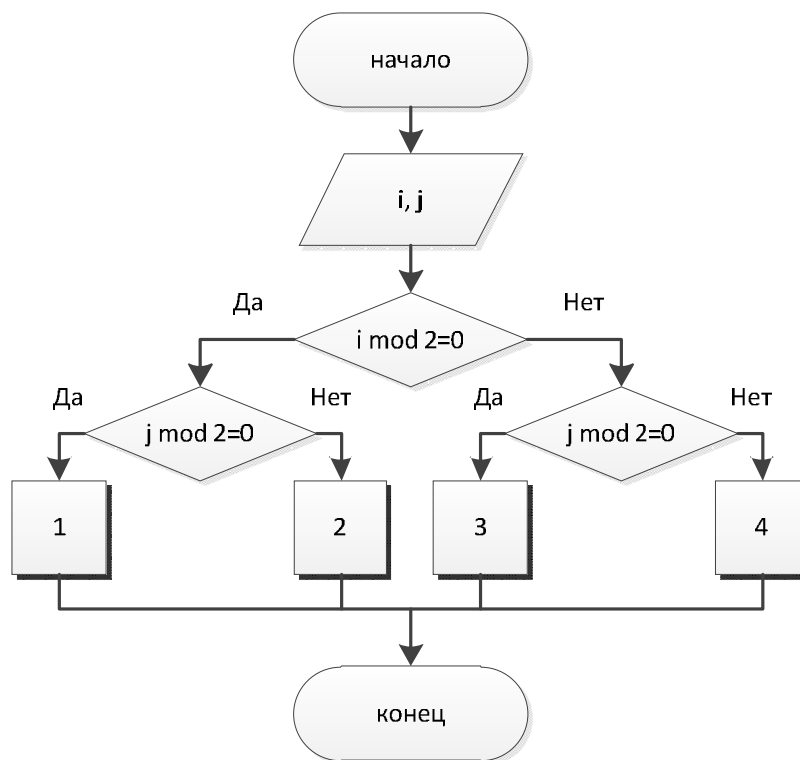


Рис. 3. Блок-схема алгоритма формирования значений пикселей результирующего изображения двух исходных снимков

Для четырех исходных аэрокосмических снимков значения пикселей результирующего изображения вычисляется аналогично.

Данный алгоритм субпиксельной обработки изображений позволяет значительно повысить разрешение снимка, однако оно все же уступает изображению, полученному с помощью фотосъемки с таким же разрешением, т.е. снимок получается слегка нечетким и размытым. Несмотря на это, алгоритм может успешно применяться, поскольку при использовании хотя бы двух снимков не происходит изменение начальных и конечных строк и столбцов формируемой матрицы. Также метод является устойчивым к шуму. Появляющиеся локальные ошибки исходных аэрокосмических снимков влияют исключительно на соответствующие им пиксели выходного изображения. Основным недостатком алгоритма субпиксельной обработки со смещением по двум направлениям заключается в отсутствии желаемой яркости и четкости результирующего изображения, которые можно устранить посредством применения других алгоритмов и способов повышения качества изображений, например, повышение контрастности, яркости, подчеркивание границ.

Выводы

Таким образом, в данной работе разработано два алгоритма субпиксельной обработки аэрокосмических снимков, позволяющие повысить качество изображения с помощью повышения их разрешения. Каждый из алгоритмов обработки данных имеет свои преимущества и недостатки и является предпочтительным при различных условиях и задачах. Поэтому выбор алгоритма решения определенной задачи зависит от многих условий, среди которых можно выделить заданную точность результата, качество и количество исходных снимков.

Библиографический список

1. Злобин В.К., Колесенков А.Н., Костров Б.В. Корреляционно-экстремальные методы совмещения аэрокосмических изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2011. No 37. С. 12-17.
2. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Спектральный анализ аэрокосмических изображений в системах мониторинга недропользования // Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании». СТНО-2017 – Рязань, 2017г. – С.160-164.
3. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Спектральное преобразование как способ автоматического масштабирования изображений // Межвузовский сборник научных трудов 3-ей магистрантской научно-технической конференции РГРТУ – Рязань, 2017г.
4. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Способ автоматического масштабирования изображений через спектральное преобразование // Сборник научных трудов международной научно-технической конференции – Рязань, 2017г.

УДК 004.932.2; ГРНТИ 47.49.31

ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ОТ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ПРОНИ СО ВЗВЕШИВАНИЕМ НАБЛЮДЕНИЙ

Д.В. Авраменко

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, avramenko.denis2014@yandex.ru

Аннотация. В данной работе описана реализация методики повышения точности спектрального оценивания процесса периодических изменений яркости многочастотных отражений от космических объектов в условиях плавного изменения их интенсивности. Проводится сравнительный анализ для определения относительного отклонения оценки частоты вращения ΔF классическим методом наименьших квадратов Прони и со взвешиванием наблюдений.

Ключевые слова. Метод Прони, весовой вектор, переопределённая система уравнений Юла – Уолкера, спектральное параметрическое оценивание

PROCESSING THE OPTICAL SIGNALS FROM COSMIC OBJECTS BY THE METHOD OF LEAST SQUARES PRONY WEIGHTING OBSERVATIONS

D.V. Avramenko

Ryazan state University of radio engineering,
Russia, Ryazan, avramenko.denis2014@yandex.ru

Abstract. This paper describes the implementation of a technique to improve the accuracy of spectral evaluation of periodic changes in the brightness of multi-frequency reflections from space objects under conditions of a smooth change in their intensity. A comparative analysis is carried out to determine the relative deviation of the estimate of the rotational speed ΔF by the classical method of the smallest squares of the Prony and weighing observations.

Keywords. Prony's method, the weight vector, the redefined system of the equations of Yule – Walker spectral parametric estimation

Введение

Разработкой методик обработки оптических сигналов от астрономических объектов занимаются многие специалисты ведущих стран мира. Подходы к решению данной проблемы различны. Особую актуальность данная задача имеет в условиях априорной неопределённости текущего ракурса и частоты вращения объекта наблюдения. Характерны ситуации, при которых формализация информационной составляющей параметров движения затруднена [1]. Вместе с тем, охарактеризовать динамику объекта могут изменения его блеска [2]. Так же не маловажной проблемой остаётся получение спектральной плотности мощности слу-

чайного процесса в условиях коротких временных выборок [3,4]. Анализ спектра отражённого светового потока позволяет существенно повысить информативность наблюдений за космическими объектами.

Классические параметрические и непараметрические методы спектрального анализа не учитывают плавное изменение мощности отражённого сигнала во время обсервации, что типично для серии наблюдений за космическим объектом, который проходя рядом с зенитом, имеет как правило, максимальную яркость, а при низких углах места — минимальную [1]. Поэтому применение модели, которая учитывает факт изменения мощности процесса [5,6], позволяет, как показано ниже, существенно повысить качество спектрального оценивания отражённого космическим объектом светового сигнала [7,8].

В данной работе предлагается использовать многочастотный подход к анализу спектра световых отражений от космических объектов методом наименьших квадратов Прони со взвешиванием наблюдений. Интерпретация данного подхода заключается в том, что по мере уменьшения (увеличения) амплитуды сигнала пропорционально изменяется отношение сигнал/шум. Для того чтобы не возмущать модель берутся отсчёты малых (больших) амплитуд с меньшим (большим) весом соответственно.

Реализация методики спектрального оценивания

Результаты наблюдений за объектом, поступающие по M различным информационным каналам, представим в виде реализации $\mathbf{X}$ дискретного марковского векторного M -мерного случайного процесса конечной связанности:

$$\mathbf{X}=[\mathbf{x}_0, \mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_t, \dots, \mathbf{x}_{T-1}],$$

где $\mathbf{x}_t=[x_{0,t}; x_{1,t}; \dots; x_{m,t}; \dots; x_{M-1,t}]^T$ — M -мерный векторный t -й временной отсчёт процесса наблюдения;

$x_{m,t}$ — значение t -го наблюдения в m -м канале;

$m=0,1, \dots, M-1$; T — знак транспонирования [9].

Математическое описание M -мерного процесса наблюдения сводится к виду:

$$\mathbf{x}_t = \sum_{k=1}^K \mathbf{h}_k \mathbf{Z}_k^{t-1} + \mathbf{e}_t,$$

где $\mathbf{h}_k$ — M -мерный вектор-столбец k -й комплексной экспоненты $\mathbf{h}_k=[h_{0,k}; h_{1,k}; \dots; h_{m,k}; \dots; h_{M-1,k}]^T$ реализации $\mathbf{h}=[\mathbf{h}_0; \mathbf{h}_1; \dots; \mathbf{h}_k; \dots; \mathbf{h}_{K-1}]^T$ комплексной амплитуды (параметр не зависящий от времени);

$\mathbf{Z}_k=[\mathbf{Z}]$ — $[(T \times K) \times M]$ -мерная матрица k -й комплексной экспоненты, описывающая параметр зависящий от времени;

$\mathbf{e}_t$ — M -мерный вектор-столбец t -ого векторного отсчёта

$\mathbf{e}_t=[e_{0,t}; e_{1,t}; \dots; e_{m,t}; \dots; e_{M-1,t}]^T$ процесса ошибки аппроксимации.

Компоненты $h_{m,k}$ матрицы $\mathbf{h}_k$ и элементы матрицы $\mathbf{Z}$ рассчитываются из соотношений:

$$h_{m,k} = A_{m,k} \exp(i\theta_{m,k}m),$$

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ z_{0,1} & z_{1,2} & \dots & z_{m,k} & \dots & z_{M-1,K} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{0,1}^{T-1} & z_{1,2}^{T-1} & \dots & z_{m,k}^{T-1} & \dots & z_{M-1,K}^{T-1} \end{bmatrix},$$

$$z_{m,k} = \exp[(\alpha_{m,k} + i2\pi F_{m,k})/T],$$

где $A_{m,k}$ — амплитуда;
 $\theta_{m,k}$ — начальная фаза;
 $\alpha_{m,k}$ — коэффициент затухания;
 $F_{m,k}$ — частота k -й комплексной экспоненты M -мерного процесса;
 i — мнимая единица.

Метод наименьших квадратов Прони по подгонке модели из K экспонент сводится к задаче полиномиальной факторизации, состоящей из трех этапов [10]. Первый этап заключается в оценке авторегрессионных параметров коэффициентов линейного предсказания на основе ковариационного метода. Второй этап состоит в вычислении корня полинома $z_{m,k}$, сформированного из коэффициентов $\mathbf{a}_k$ авторегрессии, благодаря которому можно определить коэффициент затухания $\alpha_{m,k}$ и частоту $F_{m,k}$ k -й синусоиды. Заключительный этап представляет собой получение комплексных параметров $h_{m,k}$, вычисление которых позволяет определить амплитуду $A_{m,k}$ и начальную фазу $\theta_{m,k}$.

Аппроксимация $\mathbf{X}$, описываемая выше, становится линейной относительно параметров $h_{m,k}$ и $z_{m,k}$, поэтому её можно представить в виде системы уравнений, записанной в матричном виде: $\mathbf{X} = \mathbf{Z}\mathbf{h}$.

В условиях плавно изменяемой мощности сигнала и учёта стохастической модели шума, сформируем функцию затухания по отсчётам $\mathbf{X}$ наблюдений, для того чтобы не возмущать данную модель предлагается взвесить отсчёты $\mathbf{X}$ весовым вектором $\mathbf{w}_t$, где $\mathbf{w}_t$ — M -мерный вектор-столбец t -ого векторного отсчёта $\mathbf{w}_t = [w_{0,t}; w_{1,t}; \dots; w_{m,t}; \dots; w_{M-1,t}]^T$ реализации $\mathbf{w} = [\mathbf{w}_0; \mathbf{w}_1; \dots; \mathbf{w}_t; \dots; \mathbf{w}_{T-1}]^T$, имеющий смысл весов значимости наблюдаемых отсчётов, с компонентами: $w_{m,t} = \exp(-2\alpha t)$, где w_t — весовой коэффициент отсчётов данных, зависящий от оценки коэффициента затухания α . Анализируя предыдущее выражение получим, что при $\alpha \rightarrow 0$ весовые коэффициенты удовлетворяют приближительному равенству $w \approx 1$, на временном интервале $t = 0 \dots T-1$, а при $\alpha \rightarrow 1$ значение w стремится к нулю для $t = 1 \dots T-1$, отражая тенденцию потери оценки потенциальной точности отсчётов $\mathbf{X}$ наблюдений при плавно изменяемой мощности сигнала. Поэтому значение веса $0 \leq w_t \leq 1$ учитывает уменьшение точности оценки отсчётов $\mathbf{X}$, при коэффициенте затухания $0 \leq \alpha \leq 1$. При учёте величин w_t , формирующих вектор $\mathbf{w}$, изменения амплитуды сигнала x_t за время T наблюдений можем представить в следующем виде: $\mathbf{Y} = \mathbf{X}\mathbf{W}$, где $\mathbf{Y}$ — реализация отражений от наблюдаемого объекта со взвешиванием отсчётов $\mathbf{X}$; $\mathbf{W} = \text{diag}(\mathbf{w})$ — квадратная матрица с элементами w_t вектора $\mathbf{w}$ на главной диагонали.

Исследования ставленной методики

Исследования предлагаемой методики оценки спектральной плотности мощности начнём с того, что проанализируем экспериментальную последовательность $\mathbf{Y}$, представленную тремя ($M=3$) компонентами R, G, B видимого диапазона. Последовательность представляет собой реализацию модельного процесса отражений от вращающегося космического аппарата Cassini. Его конфигурация сформирована при помощи компьютерной графики по 3D

модели с учётом цветов отдельных элементов. Методика построения изображения соответствует принятым в OpenGL принципам, т.е. получению наборов векторных графических примитивов в виде точек, линий и многоугольников с последующей математической обработкой полученных данных и построением растрового изображения.

Критерием оценки эффективности рассматриваемой методики введём относительные отклонения ΔF оцененных частот $\hat{F}$ вращения от истинных частот F для каждого из R, G, B цветов:

$$\Delta F = \frac{|\hat{F} - F|}{F} \cdot 100\%.$$

Для сравнения данного подхода результаты зависимости $\Delta F(\alpha)$ относительного отклонения $\hat{F}$ от истинных значений F при $\sigma=10^{-3}$, $p=9$ и различных значениях затухания α рассмотрим рисунок 1.

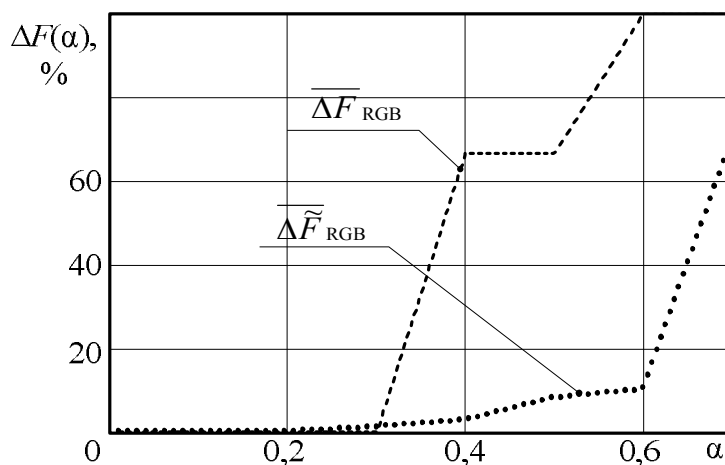


Рис. 1. Оценка относительной ошибки от затухания

На рисунке 1 представлены усреднённые по трём цветовым компонентам R, G, B зависимости относительных ошибок от коэффициента α затухания методом Прони $\overline{\Delta F}_{RGB}$ — пунктирная кривая, и предложенной методикой $\overline{\Delta \tilde{F}}_{RGB}$ — точечная кривая.

Анализ показал, что учёт изменения отношения сигнал/шум по мере уменьшения (увеличения) амплитуды сигнала, основанный на взвешивании с помощью весового вектора $\mathbf{w}=[w_i]$ наблюдений $\mathbf{X}$ позволяет снизить зависимость относительного отклонения ΔF до 23 раз. Так при $\alpha=0,4$ и порядке модели $p=9$ относительная ошибка метода наименьших квадратов Прони, усреднённое по трём цветам $\overline{\Delta F}_{RGB}=(\Delta F_R+\Delta F_G+\Delta F_B)/3=66,8\%$, а для метода Прони со взвешиванием отсчётов относительное отклонение составляет $\overline{\Delta \tilde{F}}_{RGB}=2,9\%$.

Выводы

Эксперименты показали, что при использовании весового вектора $\mathbf{w}$ для компенсации возмущений модели предложенным методом Прони величины ΔF уменьшаются от 1,4 до 23 раз, так как учитывается связь между оценкой коэффициента затухания α и весовыми коэффициентами w_i . Таким образом, показано, что целесообразно использовать метод наименьших квадратов Прони со взвешиванием отсчётов для спектрального анализа, плавно меняющего свою интенсивность процесса $\mathbf{Y}$ световых отражений от космического объекта и малого (1...5) количества наблюдаемых периодов вращения. Повышение качества спектрального

оценивания достигается за счёт учёта изменений отношения сигнал/шум затухающего процесса при расчёте параметров модели Прони векторного процесса X наблюдений.

Библиографический список

1. Авраменко Д.В. Спектральное оценивание многочастотных отражений от вращающегося космического объекта методом наименьших квадратов Прони // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2017.— № 3.— Вып. 61.— С. 8-12.
2. Диденко А.В. Исследование фотометрических характеристик геостационарных ИСЗ методом электрофотометрии: диссертация на соискание уч. ст. канд. физ.-мат. наук.— Алма-Ата, 1991.— 122 с.
3. Андреев В.Г., Чан Н.Л. Синтез модифицированной переопределённой авторегрессионной модели по короткой выборке случайного процесса // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета.— 2015.— № 4.— Вып. 54.— С. 45-49.
4. Андреев В.Г., Воскресенский А.В. Оптимизация коэффициентов авторегрессионных фильтров обработки и моделирования сигналов конечной длительности // Изв. вузов. Радиоэлектроника.— 2003.— Т. 46.— № 2.— С. 76-80.
5. Андреев В.Г., Нгуен Т.Ф. Адаптивный алгоритм подавления комбинированных помех с изменяющейся мощностью некоррелированной компоненты // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета.— 2014.— № 1.— Вып. 47.— С. 47-50.
6. Андреев В.Г., Нгуен Т.Ф., Нарбеков А.Ю. Адаптивная фильтрация комбинированных помех // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета.— 2013.— № 3.— Вып. 45.— С. 38-41.
7. Алешин В.П., Новгородцев Д.Д., Симонов Г.В. Оценки некоординатных параметров КА с помощью реальных оптических наблюдений и их заатмосферного прогноза // Электромагнитные волны и электронные системы. 2013. №1. С. 4-11.
8. Бочкарев Н.Г. Основы физики межзвездной среды. М.: Либроком, 2010. С. 286-290.
9. Андреев В.Г. Векторный регрессионный спектральный анализ отражений от вращающегося объекта // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета.— 2010.— № 2.— Вып. 32.— С. 43-48.
10. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: пер. с англ. М.: Мир, 1990.— 584 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2018».....	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ».....	5
Секция «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ».....	5
Маркин А.В., Куликов Н.В.	
Анализ методов и средств создания графовых баз данных информационных систем.....	5
Аникеев Д.В., Маркин А.В., Пудова А.В.	
Использование документо-ориентированной СУБД для анализа биллинговой информации.....	10
Хлопенко И.В.	
Обнаружение сигналов двухтональной многочастотной сигнализации в трафике IP сети.....	14
Семенова В., Ячменцева С., Смирнов Е.	
Анализ информационных систем для анализа финансового состояния предприятия.....	19
Кабулов А.	
Совершенствование системы обеспечения информационной безопасности в Республике Узбекистан.....	22
Тула Н.Б.	
Применение BIG DATA в социально-экономической сфере.....	32
Федюкин И.	
Технология блокчейн и её применение	35
Ячменцева С., Семенова В., Смирнов Е.	
Анализ рынка информационных систем обоснования выбора антикризисных мероприятий на предприятии	38
Секция "МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ"...	42
Гарин Е.В.	
Экспериментальное определение значения предела перколяции при котором прекращается распространении информации в социуме.....	42
Жаров М.	
Применение математического моделирования методом конечных элементов при решении технологических задач ОМД.....	45
Миронов В.В.	
Один пример почти ассоциативной алгебры с бесконечной системой образующих тождеств.....	49
Миронов В.В.	
Проблема выбросов измерений в априорном гарантирующем оценивании.....	56

Лискина Е.Ю., Юлдашев С.Н.

Моделирование системных компонент временного ряда «Учетная цена обезличенного металлического счёта "золото"»..... 67

Пронькин А.В., Новиков А.И.

Создание трехмерной модели местности по заданному облаку точек с помощью триангуляции..... 73

Попов А.П., Тихомиров С.Г., Подвальный С.Л., Неизвестный О.Г.

Динамика каталитического разложения этилбензола в производстве стирола с учетом эндотермического эффекта и величин расхода сырья..... 79

Медведева В.Ю.

Автоматизация построения производственной функции для эконометрического анализа 83

Тихомиров С.Г., Подвальный С.Л., Карманов А.В.

Моделирование процесса деструкции бутиловых резин под действием ионизирующих Излучений..... 89

Конюхов А.Н., Дюбуа А.Б., Сафошкин А.С.

Возможный подход к классификации нечетких множеств на основе индексов нечеткости..... 92

Карасева Н.И., Дмитриева М.Н., Кулюкин Д.В.

Интегральная оценка качества воды реки Оки как основного источника хозяйственно-питьевого водоснабжения города Рязани (на примере Соколовского водозабора)..... 97

Миронова К.В., Миронов В.В.

Проектирование обработки корпоративных данных на основе системы бизнес-анализа QLIKVIEW..... 101

Миронов В.В.

Новый взгляд на неопределенный интеграл..... 108

Дубовиков А.В., Ципоркова К.А., Ципорков Н.И.

Использование модели формирующего фильтра в задаче сглаживания методом ортогональных разложений..... 111

Козлов Е.А., Трубицын А.А.

Оценка величины рассеиваемой тепловой мощности анодом «Тепловая труба»..... 115

Седова Н.В.

Использование теории клеточных автоматов для описания модели изменения общественного мнения..... 119

Королев М.Б., Бодров О.А.

Фильтр Калмана в радиолокационных информационно-измерительных системах..... 122

Секция «ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»..... 126

Федин А.В.

Алгоритм выделения подвижных объектов в последовательности изображений..... 126

Бобиков А.И., Буркина О.Н.

Переоборудование нелинейного непрерывного регулятора состояния..... 131

Коньков А.Д.

Оценка работоспособности корреляционно-экстремальных алгоритмов измерения координат в последовательности изображений..... 137

Ларионов С.М., Селяев А.А.

Нахождение координат движущегося объекта на изображении при смещении видеодатчика..... 142

Архипова О.

Алгоритм распознавания рукописных цифр на основе разреженных автокодировщиков..... 145

Макаркин П.А.

Метод автоматического обнаружения, распознавания воздушных объектов в условиях помех и сложных условий наблюдения при помощи анализа бинарного изображения..... 150

Масякин А.П., Шубин Н.Ю.

Выделение прямолинейных границ на основе преобразования Радона..... 155

Князев М., Фельдман А.Б.

Алгоритм обнаружения препятствий для мобильного робота на основе стереозрения..... 160

Веретехин И.Д., Канев Ф.Ю.

Особенности распространения многоканального лазерного излучения в условиях теплового самовоздействия и адаптивная коррекция нелинейных искажений..... 163

Ерохин Д.Ю., Фельдман А.Б.

Нейронные сети для систем технического зрения с ограниченными вычислительными Ресурсами..... 167

М.А. Иванов, А.Б. Фельдман

Реализация алгоритма пространственной фильтрации для обнаружения и оценки параметров воздушных объектов в среде Simulink..... 171

Бобиков А.И., Бозванов А.О.

Проектирование нечеткого самонастраивающегося ПИД-регулятора для управления угловым положением двигателя постоянного тока с упругой нагрузкой..... 176

Бобиков А.И., Бубнова Т.С.

Сравнение предварительного фильтра и системы с фильтром прямой связи при использовании ПИД-регулятора..... 180

Фельдман А.Б.

Технологии обработки изображений для автоматизации монтажа BGA-компонент..... 185

Лактюшин Н.С., Стротов В.В.

Реализация управления шаговым двигателем на базе платформы ARDUINO с применением MATLAB и Simulink..... 190

Крестьянинов Д.Э., Корепанов С.Е.

Алгоритм калибровки видеодатчиков стереосистемы..... 195

Секция «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»..... 200**Новиков В., Балдин А.**

Разработка генератора временных меток резервного программно-временного блока..... 200

Балакин В.

Модель алгоритма выделения линии горизонта на аэрофотоснимке..... 205

Кузнецов В.В.

Применение технологии GPGPU в задачах построения контурного коррелятора изображений с применением ограниченных стохастических машин Больцмана..... 208

Спицын С.В., Товпеко А.В.

Основные показатели качества систем сбора и обработки измерений при проведении пусков изделий РКТ..... 211

Сергушкин В.В., Бодров О.А.

Использование формата данных JSON для взаимодействия с пользователем при разработке программного обеспечения аппаратуры передачи данных..... 217

Фетисов Д.В., Колесенков А.Н.

Увеличение пространственного разрешения аэрокосмических снимков с использованием субпиксельной обработки..... 220

Авраменко Д.В.

Обработка оптических сигналов от космических объектов методом наименьших квадратов Прони со взвешиванием наблюдений..... 225

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Научное издание

В 10 томах

Том 5

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.18. Формат 60х84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 18.

Тираж 100 экз. Заказ № 3334.

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Редакционно-издательский центр РГРТУ,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.
Отпечатано в типографии Book Jet,
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, д. 18